

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



Ph. D. Doctor of Philosophy

Dottorato in Ingegneria Aerospaziale Navale e della Qualità - XIX ciclo

CALIBRAZIONI A TERRA E PRESTAZIONI IN VOLO DI SPETTROMETRI AD IMMAGINE NEL VISIBILE E NEL VICINO INFRAROSSO PER L'ESPLORAZIONE PLANETARIA

dott. Gianrico FILACCHIONE

Coordinatore del corso di Dottorato:
Prof. Ing. Antonio MOCCIA

Relatori:
Prof. Luigi COLANGELI, dott. Vito MENNELLA
INAF-Osservatorio Astronomico di Capodimonte (Na)

© Gianrico Filacchione, INAF-IASF (2006)
via del Fosso del Cavaliere, 100
00133 Roma (Italia)
gianrico.filacchione@iasf-roma.inaf.it

Questa tesi é stata redatta in \LaTeX .
Copia elettronica PDF.



Ringraziamenti

Descrivere spettrometri ad immagine, strumentazione a loro supporto e conseguenti calibrizioni utilizzando parole, formule, immagini e grafici come ferri del mestiere é un'attività che richiede passione, pazienza, solitudine e, nel mio caso, anche silenzio e lavoro notturno. Ciononostante, alla luce del sole, ho bisogno di avere attorno a me tutte le persone che condividono l'affascinante ed incredibile attività che inizia dalla misura della prima luce di uno spettrometro ad immagine fino al suo impiego nell'esplorazione di mondi lontani. Sarebbe dunque molto egoista ignorare pubblicamente la loro collaborazione e far credere al lettore che dietro queste pagine ci sia soltanto io.

Pertanto, in primo luogo voglio ringraziare:

a Napoli: il Prof. Ing. Antonio Moccia (Università Federico II) per la sua costante disponibilità nel seguire ed indirizzare lo svolgimento del mio dottorato. Il Prof. Luigi Colangeli (INAF, Osservatorio di Capodimonte) ed il dott. Vito Mennella (INAF, Osservatorio di Capodimonte) per la competente revisione del mio lavoro e per i numerosi e saggi consigli.

all'INAF-IFSI di Roma: la dott. Angioletta Coradini ed il Prof. Costanzo Federico che introducendomi nella comunità planetologica internazionale hanno reso possibile tutto ciò che é contenuto in questa tesi (e molto altro ancora...) e per avermi insegnato che l'unico modo per fare le cose é farle bene e con passione. Giancarlo Bellucci, il Magister, per avermi trasmesso la costante dedizione nell'analisi dei dati e per gli utili e costruttivi commenti al mio lavoro. Alberto Adriani e Marisa Moriconi, perché a volte la loro presenza é stata molto meno evanescente delle atmosfere a cui si dedicano. Il mio sagace collega di dottorato Federico Tosi con cui ho avuto la fortuna di lavorare assieme sui dati di VIMS e che mi ha accompagnato nelle disperate ricerche della banda del ghiaccio d'acqua cristallino attraverso

il sistema solare. Il coraggio cambia continuamente direzione: chi lo insegue ha fretta, chi lo precede aspetta.

all'INAF-IASF di Roma: Fabrizio Capaccioni e Priscilla Cerroni per il magnifico clima di collaborazione e disponibilità senza il quale non avrei mai potuto affrontare e risolvere gli aspetti tecnici e scientifici del mio lavoro: in tutti questi anni siete stati i miei principali punti di riferimento. Giuseppe Piccioni per l'infinita disponibilità e l'incommensurabile competenza: grazie per avermi dato la possibilità di partecipare alla calibrazione di VenusExpress VIRTIS-M. Maria Cristina De Sanctis per la critica interpretazione dei dati iperspettrali. Maria Teresa Capria ed Andrea Maria Di Lellis per avermi introdotto alle delizie dell'archiviazione dei dati PDS (o forse é il contrario?). Gianfranco Magni per le entusiasmanti discussioni sulle teorie di formazione del sistema solare e degli anelli planetari. Roberto Orosei per l'utile supporto datomi nella georeferenziazione dei dati planetari e per le discussioni sul funzionamento dei radar. Andrea Carusi, Giovanni Valsecchi, Andrea Boattini e Germano D'Abramo per la loro discreta ma importante presenza. Livia Giacomini per la sua pluriennale amicizia. Tutte le persone dell'Istituto, dal direttore dott. Pietro Ubertini al personale tecnico-amministrativo che, con la loro disponibilità e premura, in questi anni hanno reso più piacevole il lavoro. Ringrazio infine quanti hanno inutilmente avuto da dire e da ridire: la critica é l'imposta che l'invidia percepisce sul merito.

alla fabbrica degli spettrometri, la Galileo Selex di Campi Bisenzio: tutti i responsabili di progetto, i fisici, gli ingegneri, i progettisti, i tecnici ed i montatori che nel corso degli anni sono stati impegnati nei progetti VIMS, VIRTIS, VIR-MS, JIRAM, SIMBIOSYS e da cui ho tanto appreso: Romeo De Vidi, Enrico Suetta, Massimo Cosi, Alessandro Bini, Leonardo Tommasi, Iacopo Ficaì Veltroni, Claudio Pasqui. In particolare un sentito ringraziamento alla squadra dei calibratori (o *Mazzoneria* che dir si voglia): Michele Dami, Alessandra Barbis, Alessandro Mazzoni, per le infinite ore (diurne, notturne, feriali e festive) trascorse in CRV a calibrare lo spettrometro di turno che era nel termovuoto. E' stato un vero onore e piacere lavorare con tutti voi.

all'ASI, Agenzia Spaziale Italiana di Roma: Enrico Flamini, Simonetta di Pippo e Sylvie Espinasse per aver provveduto, grazie al grant ASI/Cassini I/R/220/02, alla copertura finanziaria della mia posizione lavorativa e per avermi permesso di continuare nelle mie ricerche. Un sentito ringraziamento inoltre a Claudio Portelli per l'esperienza della Task Force Junior di esplorazione del sistema solare.

in giro per il mondo. il fantastico team scientifico di VIMS per avermi dato l'onore di sentirmi parte della grande famiglia di Cassini e di partecipare ad una delle più affascinanti missioni di esplorazione planetaria: Robert 'Bob' H. Brown, Kevin H. Baines, Giancarlo Bellucci, Jean Pierre Bibring, Bonnie J. Buratti, Fabrizio Capaccioni, Priscilla Cerroni, Roger N. Clark, Michel Combes, Angioletta Coradini, Dale P. Cruikshank, Pierre Drossart, Vittorio Formisano, Ralf Jaumann, Yves Langevin, Dennis L. Matson, Tom McCord (e Carol), Vito Mennella, Robert M. Nelson, Phil D. Nicholson, Bruno Sicardy, Cristhophe Sotin, Gary

Hansen, Karl Hibbitts, Mark Showalter, Caitlin Griffith, Matt Hedman. I Cassini interdisciplinary scientists: Jonathan Lunine per tutto quello che ho imparato dalle sue numerose lectures sul sistema solare esterno e Jeffrey N. Cuzzi per le magnifiche discussioni sugli anelli di Saturno e sulla intercalibrazione di VIMS-V con ISS. Il team delle Instrument Operations di VIMS al Jpl di Pasadena: Charles Avis, John Diehl, Frank Leader e Alan Stevenson. Il team delle Ground Operations di VIMS al Lunar and Planetary Lab dell'Università dell'Arizona: Little Dyer, John Ivens, Dan Moynihan, Robert Watson, Virginia Pasek.

Stephane Erard per le procedure IDL di lettura dei files PDS di VIRTIS-M.

Sergio Fonti per i commenti sull'effetto della contaminazione degli ordini e la misura del flat field di VIRTIS-M.

Riccardo Melchiorri (e Jeanne) che mi é stato vicino dalla tavola equatoriale n. 5 dell'osservatorio di Meudon.

la mia Famiglia: per tutto quello che mi ha dato.

lassù: la mia Stellina Polare (α UMi) che seppur distante ($d = 199.956$ pc) e fredda ($B-V = +0.6$) per tutti questi anni ha brillato ($m_v = +2.02$) fissa ed immobile ($p = 0.005$ arcsec/anno) ad indicarmi incessantemente la Via.

1C25 INAF-IASF
Roma, 3 ottobre 2006





Indice

I	Cassini VIMS-V	24
1	L'esperimento VIMS-V	25
1.1	Introduzione	25
1.2	Disegno ottico	25
1.2.1	Telescopio Shafer	31
1.2.2	Spettrometro Offner	33
1.2.3	Reticolo di diffrazione	34
1.2.4	Porta solare ed unità di calibrazione interna	36
1.3	Piano focale e controllo termico	38
1.3.1	CCD	38
1.3.2	Finestra ottica	39
1.4	Controllo termico	40
1.5	Elettronica di comando	40
1.5.1	Vis Channel Proximity Electronics VCPE e Vis Channel Electronics VCE	41
1.5.2	Signal Processing Electronics (SPE)	42
1.5.3	Main Electronics (ME)	42
1.6	Modalità operative	43
1.7	Il cubo iperspettrale di VIMS	47
1.8	La missione Cassini e gli obiettivi scientifici di VIMS	48
1.8.1	Il satellite Cassini	48
1.8.2	Obiettivi scientifici di VIMS	48
1.8.3	Piattaforma di remote sensing ed allineamenti	50

	7
2 VIMS-V: calibrazioni in volo	55
2.1 Introduzione	55
2.2 Stabilità strumentale in volo	56
2.2.1 Calibrazione spettrale	56
2.2.2 Stabilità della calibrazione spettrale interna	57
2.3 Calibrazione in volo di VIMS-V	57
2.3.1 Osservazione della Luna e calcolo della radianza spettrale	58
2.3.2 Flat-Field	63
2.3.3 Responsività	69
2.4 Validazione della responsività	71
2.5 Effetti strumentali secondari	73
2.5.1 Il tilt spettrale	73
2.5.2 L'algoritmo di despiking-destriping	80
 II Rosetta VIRTIS-M	 83
3 L'esperimento VIRTIS-M	84
3.1 Configurazione di VIRTIS-M	84
3.1.1 Telescopio e scanning mirror	87
3.1.2 Spettrometro e reticolo di diffrazione	87
3.1.3 Piani focali Visibile ed Infrarosso	90
3.1.4 Elettronica di comando	95
3.1.5 Software di bordo e modalità operative	99
3.2 Dispositivi di calibrazione interna	101
3.3 Il cubo iperspettrale di VIRTIS-M	105
3.3.1 Formato del dato scientifico	105
3.4 La missione Rosetta e gli obiettivi scientifici di VIRTIS	108
3.4.1 Rosetta	108
3.4.2 Obiettivi scientifici di VIRTIS	109
3.4.3 Collocazione di VIRTIS su Rosetta	110
 4 Calibrazione di VIRTIS-M	 111
4.1 Il setup di calibrazione	112
4.2 Calibrazione spettrale	115
4.3 Calibrazioni geometriche	123
4.3.1 Misura dell'IFOV: le funzioni di pixel e di fenditura	123
4.3.2 Registrazione spaziale	138
4.4 Calibrazioni spaziali	148
4.4.1 Flat-field visibile	148
4.4.2 Flat-field infrarosso	149
4.5 Limitazioni spettroradiometriche del canale -VIS	152
4.5.1 Acquisizione lampada spettrale Hg	154
4.5.2 Acquisizione scansione monocromatore	157
4.5.3 Algoritmo di correzione dell'effetto degli ordini	158

4.6	Calibrazione radiometrica	163
4.6.1	Responsività del canale visibile	163
4.6.2	Responsività del canale infrarosso	164
4.7	Calibrazione interna	170
5	VIRTIS: prestazioni in volo	173
5.1	Stabilità strumentale in volo	173
5.1.1	Evoluzione della calibrazione interna	173
5.1.2	Evoluzione della risposta dell'IRFPA	186
5.2	Misura della straylight in volo	191
5.3	Algoritmo di detilt spettrale	196
5.4	La correzione della responsività visibile dai dati in volo	198
5.5	La pipeline di calibrazione dei dati in volo	205
5.6	Verifica dei risultati calibrati	207
5.6.1	Terra	207
5.6.2	Saturno	209
6	Conclusioni	213
6.1	Pubblicazioni scientifiche:	214
6.1.1	In stampa	214
6.1.2	2006	215
6.1.3	2005	216
6.1.4	2004	217
A	Il formato PDS	219
A.1	Il file PDS di VIMS	219
A.2	Il file PDS di VIRTIS-M-VIS	223
A.3	Il file PDS di VIRTIS-M-IR	225
A.4	Il trend file (.hkt) di VIRTIS-M	227
B	Modello radiometrico VIRTIS	231
B.1	Radianza del target osservato	231
B.2	Stima del segnale	232
B.3	Stima del rumore	232
B.3.1	Read-out	233
B.3.2	Dark Current	233
B.3.3	F-noise	233
B.3.4	Rumore termico ambientale	233
B.3.5	Rumore totale	235
B.4	Stima del rapporto segnale/rumore	235
C	Tabelle VIMS	236
D	Tabelle VIRTIS	245
E	Bibliografia	313



Elenco delle figure

1.1	L'esperimento Cassini-VIMS: elettronica principale, canali -VIS ed -IR	26
1.2	Disegno della testa ottica dell'esperimento VIMS-V.	27
1.3	Disegno ottico dell'esperimento VIMS-V.	27
1.4	Diagramma delle distanze del fascio principale e marginale dall'asse ottico di VIMS-V.	29
1.5	Disegno ottico del telescopio Shafer di VIMS-V.	31
1.6	Riflettanza spettrale $\rho_{coating\ sp.}$ del coating del singolo specchio e totale di VIMS-V.	32
1.7	Disegno ottico dello spettrometro Offner di VIMS-V.	33
1.8	Schema della diffrazione di un fascio incidente su un grating e definizione degli ordini.	34
1.9	Disegno del reticolo di diffrazione di VIMS-V.	35
1.10	Efficienza spettrale del reticolo di VIMS-V.	36
1.11	Riflettanza spettrale $\rho_{coating\ ret.}$ del coating del reticolo di diffrazione di VIMS-V.	37
1.12	La porta solare e lo specchio di scansione M1 di VIMS-V.	37
1.13	Il piano focale di VIMS-V.	39
1.14	Efficienza quantica η_{CCD} della CCD (detector, finestra ottica, filtri) di VIMS-V.	40
1.15	Diagramma a blocchi funzionale dell'esperimento VIMS integrato: canali VIS ed IR, Main Electronics.	41
1.16	Raffigurazione grafica dei parametri Swath Width, Swath Offset, Swath Length e Mirror Offset di VIMS-V.	44
1.17	Struttura dei dati di VIMS: il cubo iperspettrale.	49
1.18	Il satellite Cassini: payload scientifico e componenti di servizio.	50

1.19	La piattaforma di remote sensing su Cassini: ISS-WAC, ISS-NAC, UVIS, VIMS, CIRS e sensori stellari SRU.	52
1.20	Orientazione dei FOV del payload scientifico rispetto al riferimento del satellite Cassini.	53
1.21	Proiezione dei FOV e coallineamento degli strumenti di remote sensing del satellite Cassini lungo l'asse -Y.	54
2.1	Segnale dell'unità di calibrazione interna di VIMS-V durante la fase di cruise.	57
2.2	Proiezione di mercatore dell'osservazione di VIMS-V su una mappa della Luna.	59
2.3	Segnale del pixel (s^* , l^*)=(25, 19) del cubo V1313633953 utilizzato per la calibrazione radiometrica di VIMS-V.	60
2.4	Riflettanza spettrale di Mare Crisium $\rho_{Crisium}^{McCord}(\lambda, \phi = 18^\circ)$ e del sito di allunaggio dell'Apollo 16 $\rho_{Ap16}^{McCord}(\lambda, \phi = 6^\circ)$ (Mc Cord et al., 1972b).	61
2.5	Riflettanza spettrale $\rho_{Ap16}^{Pieters}(\lambda, i = 30^\circ, e = 0^\circ, \phi = 30^\circ)$ misurata in laboratorio dei campioni di roccia (soil 62231) prelevati sul sito di allunaggio dell'Apollo 16 (Pieters, 1999).	61
2.6	Curve di fase spettrali della Luna in m_v per angoli di fase di 6° , 18° , 30° , 90° (Lane et Irvine, 1973).	62
2.7	Riflettanza spettrale di Mare Crisium $\rho_{Crisium}^{VIMS}(\lambda, i = 46^\circ, e = 51^\circ, \phi = 90^\circ)$ nelle condizioni osservative di VIMS-V.	63
2.8	Immagine RGB dell'atmosfera di Venere e profili del segnale.	65
2.9	Sequenza delle acquisizioni di flat field lungo le 12 lines del cubo V1308947365	66
2.10	Flat-field di VIMS-V in modalità nominale con e senza correzione per il readout noise.	66
2.11	Profili spaziali sul flat field raw e smooth di VIMS-V alle bands=10, 26, 44, 61.	67
2.12	Istogrammi dei flat field raw e smooth di VIMS-V.	68
2.13	Profilo della responsività spettrale di VIMS-V sul pixel di calibrazione $s^*=25$	70
2.14	Matrice della responsività di VIMS-V	71
2.15	Valutazione delle prestazioni radiometriche di VIMS-V sullo spettro full-disk di Giove: confronto con lo spettro misurato da terra da Karkoschka, (1994).	72
2.16	Effetto del tilt spettrale sul piano focale di uno spettrometro ad immagine pushbroom.	73
2.17	Composizione delle acquisizioni del segnale attraverso i filtri passabanda per la misura del tilt spettrale di VIMS-V spare.	75
2.18	Risultati dei fit lineari sui baricentri degli spot usati per stimare il tilt spettrale di VIMS-V spare.	77
2.19	Effetto del tilt spettrale misurato su VIMS-V spare con la scansione sub-pixel.	78
2.20	Matrice del tilt spettrale sul piano focale.	78
2.21	Variazione del coefficiente angolare di tilt (in rad) lungo l'asse spaziale della fenditura di VIMS-V spare.	79
2.22	Effetto del tilt spettrale sui dati in volo di VIMS-V.	79
2.23	Rimozione degli offset di readout e spikes dell'elettronica sui dati di VIMS-V.	82
3.1	Diagramma funzionale di Rosetta-VIRTIS.	85
3.2	Disegno termomeccanico di Rosetta-VIRTIS.	87

<i>ELENCO DELLE FIGURE</i>	11
3.3 Disegno ottico di Rosetta-VIRTIS.	88
3.4 Ampiezza del FOV di Rosetta-VIRTIS.	88
3.5 Disegno dello spettroscopio Offner di Rosetta-VIRTIS.	89
3.6 Struttura del reticolo convesso di Rosetta-VIRTIS.	90
3.7 Riflettanza ed efficienza spettrali del reticolo infrarosso di Rosetta-VIRTIS.	91
3.8 La CCD di VIRTIS-M durante il montaggio.	91
3.9 Disegno del piano focale VIS di Rosetta-VIRTIS.	92
3.10 Parametri spettrali del piano focale VIS di Rosetta-VIRTIS.	92
3.11 Il piano focale IRFPA di VIRTIS-M durante il montaggio.	93
3.12 Disegno del piano focale infrarosso di Rosetta-VIRTIS-M.	94
3.13 Parametri spettrali del piano focale IR di Rosetta-VIRTIS-M.	94
3.14 Configurazione dei piani focali -VIS ed -IR nello spettrometro di VIRTIS-M.	95
3.15 La Main Electronics di Rosetta-VIRTIS.	97
3.16 La PEM di Rosetta-VIRTIS.	99
3.17 Configurazione del lato interno del cover di VIRTIS-M.	103
3.18 Test in camera pulita dell'accensione della lampada di calibrazione interna VIS a cover aperto.	103
3.19 Le due lampade di calibrazione interna alloggiate nel telescopio di VIRTIS-M.	104
3.20 Definizione del cubo iperspettrale di Rosetta-VIRTIS-M.	106
3.21 Il payload scientifico sul satellite Rosetta.	110
4.1 Diagramma a blocchi del setup utilizzato per la calibrazione di VIRTIS-M presso la Galileo Avionica.	112
4.2 Il laboratorio contenente la camera a termovuoto presso la Galileo Avionica nella configurazione di calibrazione.	113
4.3 VIRTIS-M alloggiato nella camera a termovuoto presso la Galileo Avionica nella configurazione di calibrazione.	114
4.4 Lo Unit Tester (UT) usato durante le calibrazioni di VIRTIS-M.	114
4.5 Il setup della calibrazione spettrale di VIRTIS-M.	116
4.6 Il segnale del monocromatore durante le scansioni attorno a 400, 550 e 1010 nm utilizzate per la determinazione della calibrazione spettrale di VIRTIS-M-VIS.	118
4.7 Il segnale del monocromatore durante le scansioni attorno a 1010, 3000 e 5000 nm utilizzate per la determinazione della calibrazione spettrale di VIRTIS-M-IR.	121
4.8 Retta di best fit sulle scansioni spettrali fatte con il monocromatore e sulle righe di emissione della lampada Hg sui canali -VIS ed -IR di VIRTIS-M.	122
4.9 Schema dell'orientazione della fenditura di test per la determinazione delle funzioni di pixel e di fenditura di VIRTIS-M	124
4.10 Frames con il segnale della fenditura di test sul canale -VIS ed -IR per le posizioni G, F e boresight allo step=40 della scansione di misura della funzione di fenditura di VIRTIS-M-VIS.	126
4.11 Identificazione delle righe di emissione sulla lampada Hg per la misura della funzione di fenditura e di pixel di VIRTIS-M.	127
4.12 Slices (bands \times scan step) con il segnale della test slit sul canale -VIS ed -IR durante la misura della funzione di fenditura.	129

4.13	Profili angolari con il segnale della test slit sul canale -VIS per le righe a-b-c-d-e-f della lampada Hg nelle posizioni boresight, G, F durante la misura della funzione di fenditura.	130
4.14	Profili angolari con il segnale della test slit sul canale -IR per le righe g-h-i-l della lampada Hg nelle posizioni boresight, G, F durante la misura della funzione di fenditura.	131
4.15	Frames con il segnale della fenditura di test sul canale -VIS ed -IR per le posizioni G, F e boresight durante la scansione di misura della funzione di pixel di VIRTIS-M-VIS.	132
4.16	Profili angolari con il segnale della test slit sul canale -VIS per le righe a-b-c-d-e-f della lampada Hg nelle posizioni boresight, G, F durante la misura della funzione di pixel.	133
4.17	Profili angolari con il segnale della test slit sul canale -IR per le righe g-h-i-l della lampada Hg nelle posizioni boresight, G, F durante la misura della funzione di pixel.	134
4.18	Risultati medi delle funzioni di fenditura e di pixel di VIRTIS-M sul boresight.	136
4.19	Risultati medi delle funzioni di fenditura e di pixel di VIRTIS-M sulla posizione G.	137
4.20	Risultati medi delle funzioni di fenditura e di pixel di VIRTIS-M sulla posizione F.	137
4.21	Setup di misura del target con 25 microlampade utilizzato per la registrazione spaziale.	139
4.22	Immagini delle 25 microlampade acquisite dai canali VIS ed IR di VIRTIS-M per la misura della calibrazione geometrica.	140
4.23	Confronto tra le posizioni angolari delle 25 microlampade acquisite dal canale VIS (band=100) di VIRTIS-M con la misura fatta con il teodolite.	145
4.24	Caratterizzazione del seno dell'angolo elettrico comandato al motore dello specchio di scansione M1 di VIRTIS-M per una scansione completa di 256 lines.	146
4.25	Caratterizzazione del coseno dell'angolo elettrico comandato al motore dello specchio di scansione M1 di VIRTIS-M per una scansione completa di 256 lines.	146
4.26	Caratterizzazione della corrente assorbita dal motore dello specchio di scansione M1 di VIRTIS-M per una scansione completa di 256 lines.	147
4.27	Setup di misura del flat-field per VIRTIS-M-VIS.	149
4.28	Ricostruzione del segnale di flat-field per VIRTIS-M-VIS.	150
4.29	Ricostruzione del segnale di flat-field per VIRTIS-M-IR.	151
4.30	Matrici di flat field di VIRTIS-M.	152
4.31	Lampada spettrale Hg utilizzata per la misura della contaminazione del segnale -VIS da parte degli ordini superiori del reticolo -IR	154
4.32	Acquisizione della lampada spettrale Hg: verifica della calibrazione spettrale e della contaminazione degli ordini sul canale VIS.	155
4.33	Acquisizione lampada spettrale Hg: verifica della calibrazione spettrale e della contaminazione degli ordini sul canale IR.	156
4.34	Sequenza dei frame di VIRTIS-M-VIS sulla scansione spettrale 360-1060 nm con il monocromatore.	160

4.35	Segnale dell'ordine -1VIS -5 IR misurato durante la scansione con il monocromatore e somma del segnale di tutti gli ordini IR.	161
4.36	Segnale degli ordini superiori IR misurato mediante la scansione del monocromatore	162
4.37	Responsività al centro fenditura $s^* = 127$ di VIRTIS-M-VIS	164
4.38	Le funzioni di trasferimento strumentali di VIRTIS-M-VIS ed -IR	165
4.39	Segnale spettrale del corpo nero sulle 12 acquisizioni usate per la misura della responsività di VIRTIS-M-IR.	167
4.40	Radianza spettrale del corpo nero sulle 12 acquisizioni usate per la misura della responsività di VIRTIS-M-IR.	168
4.41	La responsività di VIRTIS-M-IR valutata mediante le 12 acquisizioni di corpo nero.	169
4.42	La sequenza di calibrazione interna del canale -VIS di VIRTIS-M	171
4.43	La sequenza di calibrazione interna del canale -IR di VIRTIS-M	172
5.1	Evoluzione temporale del segnale di offset nelle calibrazioni interne di VIRTIS-M.	176
5.2	Evoluzione temporale del segnale di background nelle calibrazioni interne di VIRTIS-M.	177
5.3	Evoluzione temporale del segnale di dark current nelle calibrazioni interne di VIRTIS-M.	178
5.4	Dipendenza del segnale di dark current di VIRTIS-M-VIS con la temperatura della CCD.	180
5.5	Dipendenza del segnale di background di VIRTIS-M-IR con la temperatura dello spettrometro.	181
5.6	Dipendenza del segnale di dark current di VIRTIS-M-IR con la temperatura dell'IRFPA e dello shutter.	181
5.7	Evoluzione temporale del segnale della lampada -IR (filtro in polistirene) nelle calibrazioni interne di VIRTIS-M.	183
5.8	Evoluzione temporale del segnale della lampada -VIS (filtro in olmio) nelle calibrazioni interne di VIRTIS-M-VIS.	184
5.9	Verifica della calibrazione spettrale di VIRTIS-M in volo: evoluzione temporale del segnale delle lampade -VIS ed -IR sulle bande di assorbimento dei filtri.	185
5.10	Evoluzione temporale della variazione della risposta di VIRTIS-M-IR in volo sui frame di acquisizione della lampada -IR.	188
5.11	Variazione della risposta di VIRTIS-M-IR in volo (sessione F49S857) sul frame di acquisizione della lampada -IR.	189
5.12	Comparazione della risposta di VIRTIS-M-IR in volo sul frame di acquisizione della lampada -IR pre (FI43P146) e post comparsa della rottura del filtro (FI535730).	189
5.13	Comparazione delle matrici di flat-field di VIRTIS-M-IR in volo ricavate dal frame di acquisizione della lampada -IR pre (FI43P146) e post comparsa della rottura del filtro (FI535730).	190
5.14	Comparazione delle matrici di responsività di VIRTIS-M-IR misurata a terra e corretta in volo per la rottura del filtro del piano focale IR.	190

5.15 Osservazione della straylight in volo di VIRTIS-M-VIS: sessione FV49UA25 ad angolo solare $\alpha = 45^\circ$	193
5.16 Osservazione della straylight in volo di VIRTIS-M-IR: sessione FI49UA25 ad angolo solare $\alpha = 45^\circ$	193
5.17 Osservazione della straylight in volo di VIRTIS-M-VIS: sessione FV49UB5 ad angolo solare $\alpha = 35^\circ$	194
5.18 Osservazione della straylight in volo di VIRTIS-M-IR: sessione FI49UB5 ad angolo solare $\alpha = 35^\circ$	194
5.19 Osservazione della straylight in volo di VIRTIS-M-VIS: sessione FV49UC5 ad angolo solare $\alpha = 20^\circ$	195
5.20 Osservazione della straylight in volo di VIRTIS-M-IR: sessione FI49UC5 ad angolo solare $\alpha = 20^\circ$	195
5.21 Applicazione dell'algoritmo di detilt all'acquisizione della Terra FV535C30.	197
5.22 Effetto dell'algoritmo di detilt sull'acquisizione della Terra FV535C30.	198
5.23 Geometria di osservazione della Luna per l'osservazione FV534H20.	200
5.24 Posizione del cratere Kepler sull'immagine RGB (true color) della Luna FV534H20.201	
5.25 Segnale osservato da VIRTIS-M-VIS sul cratere Kepler della Luna.	201
5.26 Spettro in riflettanza del cratere Kepler scalato all'angolo di fase ($\Phi = 111^\circ$) dell'osservazione FV534H20 di VIRTIS-M-VIS.	202
5.27 Irradianza solare misurata ad 1 AU (Thekaekara, 1973).	203
5.28 ITF di VIRTIS-M-VIS valutata su un'osservazione della Luna.	203
5.29 Responsività di VIRTIS-M-VIS valutata sull'osservazione FV534H20 della Luna in corrispondenza del cratere Kepler.	204
5.30 Immagini monocromatiche della Terra (osservazioni FV535C30-FI535C30) calibrate in riflettanza a 1000 nm.	207
5.31 Riflettanza spettrale VIS-IR della Terra e verifica del raccordo del segnale tra i due canali.	208
5.32 Radianza spettrale VIS-IR della Terra e verifica del raccordo del segnale tra i due canali.	209
5.33 Mappa della temperatura di brillantezza ricavata a 5000 nm sull'acquisizione della Terra FI535C30.	210
5.34 Geometria di osservazione di Saturno per l'osservazione F49S930.	210
5.35 Verifica dello spettro in riflettanza full-disk di Saturno misurato da VIRTIS-M-VIS sull'osservazione FV49S930.	211
5.36 Verifica dello spettro in riflettanza full-disk di Saturno misurato da VIRTIS-M-IR sull'osservazione FI49S930.	212

Elenco delle tabelle

1.1	Parametri meccanici, ottici ed elettronici di VIMS-V.	30
1.2	Riflettanza spettrale $\rho_{coating\ sp.}$ del coating degli specchi di VIMS-V.	33
1.3	Proprietà delle sei regioni concentriche del reticolo di VIMS-V	35
1.4	Riflettanza spettrale $\rho_{coating\ ret.}$ del coating del reticolo di diffrazione di VIMS-V.	37
1.5	Modi operativi (GSS, Group Selecting Status) dello strumento VIMS-V.	45
1.6	Valori del parametro Swath Width nelle diverse modalità GSS di VIMS-V.	45
1.7	Relazione tra il parametro Mirror Motion e la direzione di scansione nei possibili modi GSS di VIMS-V.	46
1.8	Relazione tra il parametro Spectral Offset ed il range spettrale di VIMS-V.	46
1.9	Relazione tra il parametro Gain e l'offset elettronico di VIMS-V.	47
1.10	Relazione tra il parametro Antiblooming e la gestione del livello di saturazione della CCD di VIMS-V.	47
2.1	Parametri delle osservazioni di VIMS-V della Luna.	59
2.2	Parametri delle osservazioni di VIMS-V di Venere.	63
2.3	Valori statistici sui flat field raw e smooth di VIMS-V.	67
2.4	Risultati dei fit lineari lungo l'asse della fenditura di VIMS-V spare dei segnali spettrali generati con i filtri interferenziali ai sample 5÷60.	76
2.5	Posizioni spettrali delle righe di emissione della lampda HgNe Oriel usata per la misura del tilt spettrale di VIMS-V spare model.	77
3.1	Parametri meccanici, ottici ed elettronici di VIRTIS-M.	86
3.2	Caratteristiche del reticolo di VIRTIS-M.	89
3.3	Sequenza delle 35 acquisizioni della calibrazione interna di VIRTIS-M.	101

3.4	Posizioni spettrali delle bande di assorbimento del filtro in olmio della lampada di calibrazione interna di VIRTIS-M-VIS	102
3.5	Posizioni spettrali delle bande di assorbimento del filtro in polistirene della lampada di calibrazione interna di VIRTIS-M-IR.	102
3.6	Possibili valori della keyword INSTRUMENT_MODEL_ID di VIRTIS-M. . . .	105
3.7	Sequenza di lettura dei dati scientifici sui piani focali VIS ed IR di VIRTIS-M.	107
3.8	Parametri di codificazione del segnale di VIRTIS-M-VIS.	107
3.9	Parametri di codificazione del segnale di VIRTIS-M-IR.	108
3.10	Le fasi della missione Rosetta.	109
4.1	Parametri delle misure della calibrazione spettrale.	116
4.2	Parametri della calibrazione spettrale di VIRTIS-M-VIS	117
4.3	Parametri della calibrazione spettrale di VIRTIS-M-IR	119
4.4	Posizioni spettrali delle righe di emissione della lampada spettrale al mercurio sui piani focali di VIRTIS-M.	119
4.5	Sequenza di scansione della fenditura di prova sul pixel per la determinazione della funzione di fenditura e di pixel di VIRTIS-M.	125
4.6	Identificazione delle righe di emissione della lampada Hg sui canali -VIS ed -IR.	125
4.7	Intervalli spaziali validi per la misura della funzione di fenditura sui canali -VIS ed -IR alle posizioni boresight, G, F.	126
4.8	Funzione di pixel e di fenditura medi sulle posizioni boresight, G, F sulle righe di emissione a÷l.	135
4.9	Risultati dei fit-lineari del tilt spettrale per le 25 microlampade sul canale VIS.	141
4.10	Risultati dei fit-lineari del tilt spettrale per le 25 microlampade sul canale IR.	142
4.11	Registrazione spaziale di VIRTIS-M-VIS: posizioni angolari delle 25 microlampade rispetto alla centrale.	144
4.12	Acquisizioni di corpo nero a diverse temperature per la misura della responsività di VIRTIS-M-IR.	166
5.1	Variazione del segnale di dark current e background di VIRTIS-M durante le sessioni di calibrazione interna.	179
5.2	Misure e statistica sui frames di straylight in volo di Rosetta-VIRTIS-M-VIS.	191
5.3	Misure e statistica sui frames di straylight in volo di Rosetta-VIRTIS-M-IR. .	192
5.4	Sequenza di calibrazione di VIRTIS-M.	206
B.1	Proprietà dei filtri del piano focale IR di VIRTIS-M.	234
B.2	Angoli solidi ed emissività delle parti interne di VIRTIS-M per il calcolo del rumore termico.	235
C.1	Efficienza totale del reticolo di VIMS-V e delle due regioni delle linee separate η_{285} e η_{420}	236
C.2	Efficienza quantica η_{CCD} della CCD (detector, finestra ottica, filtri) di VIMS-V.	237
C.3	Tabella di calibrazione dei parametri elettrici del motore di scansione di VIMS-V.	237
C.4	Calibrazione spettrale di VIMS-V in modalità spettrale nominale.	238
C.5	Variazione delle m_v della Luna in funzione dell'angolo di fase.	239
C.6	Responsività e parametri di calibrazione di VIMS-V: bands=1÷25.	239

C.7	Responsività e parametri di calibrazione di VIMS-V: bands=26÷70.	240
C.8	Responsività e parametri di calibrazione di VIMS-V: bands=71÷95.	241
C.9	Misura del tilt spettrale di VIMS-V spare: baricentri dei segnali generati con i filtri interferenziali sui sample = 5, 10, 15, 20, 25, 30.	242
C.10	Misura del tilt spettrale di VIMS-V spare: baricentri dei segnali generati con i filtri interferenziali sul sample = 32 (centro della fenditura dello spettrometro).	243
C.11	Misura del tilt spettrale di VIMS-V spare: baricentri dei segnali generati con i filtri interferenziali sui sample = 35, 40, 45, 50, 55, 60.	244
D.1	Modi operativi di VIRTIS-M.	245
D.2	Calibrazione spettrale VIRTIS-M-VIS: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 400 nm; intervallo spaziale sample=100÷154, intervallo spettrale bands=93÷96.	246
D.3	Calibrazione spettrale VIRTIS-M-VIS: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 550 nm; intervallo spaziale sample=100÷154, intervallo spettrale bands=172÷176.	247
D.4	Calibrazione spettrale VIRTIS-M-VIS: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 1000 nm; intervallo spaziale sample=104÷158, intervallo spettrale bands=412÷415.	248
D.5	Calibrazione spettrale VIRTIS-M-IR: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 1010 nm; intervallo spaziale sample=108÷166, intervallo spettrale bands=1÷3.	249
D.6	Calibrazione spettrale VIRTIS-M-IR: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 3000 nm; intervallo spaziale sample=108÷166, intervallo spettrale bands=212÷215.	250
D.7	Calibrazione spettrale VIRTIS-M-IR: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 5000 nm; intervallo spaziale sample=108÷164, intervallo spettrale bands=418÷421.	251
D.8	Calibrazione spettrale VIRTIS-M-IR: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 5000 nm; intervallo spaziale sample=108÷164, intervallo spettrale bands=422÷425.	252
D.9	Calibrazione spettrale VIRTIS-M-IR: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 5000 nm; intervallo spaziale sample=108÷164, intervallo spettrale bands=426÷428.	253
D.10	Tabella di calibrazione spettrale dei canali VIS ed IR di VIRTIS-M: bands=0 ÷ 223.	254
D.11	Tabella di calibrazione spettrale dei canali VIS ed IR di VIRTIS-M: bands=224 ÷ 431.	255
D.12	Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga a (bands = 76÷77 VIS, posizioni boresight, G, F.	256
D.13	Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga b (bands = 97÷98 VIS), posizioni boresight, G, F.	257
D.14	Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga c (bands = 113÷115 VIS), posizioni boresight, G, F.	258

D.15 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga d (bands = $171 \div 174$ VIS), posizioni boresight, G, F.	259
D.16 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga a (bands = $76 \div 77$ VIS, posizioni boresight, G, F.	260
D.17 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga b (bands = $97 \div 98$ VIS), posizioni boresight, G, F.	261
D.18 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga c (bands = $113 \div 115$ VIS), posizioni boresight, G, F.	262
D.19 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga e (bands = $188 \div 191$ VIS), posizioni boresight, G, F.	263
D.20 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga f (bands = $366 \div 367$ VIS), posizioni boresight, G, F.	264
D.21 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga g (bands = $1 \div 2$ IR), posizioni boresight, G, F.	265
D.22 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga h (bands = $13 \div 14$ IR), posizioni boresight, G, F.	266
D.23 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga i (bands = $38 \div 39$ IR), posizioni boresight, G, F.	267
D.24 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga l (bands = $74 \div 75$ IR), posizioni boresight, G, F.	268
D.25 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga d (bands = $171 \div 174$ VIS), posizioni boresight, G, F.	269
D.26 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga e (bands = $188 \div 191$ VIS), posizioni boresight, G, F.	270
D.27 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga f (bands = $366 \div 367$ VIS), posizioni boresight, G, F.	271
D.28 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga g (bands = $1 \div 2$ IR), posizioni boresight, G, F.	272
D.29 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga h (bands = $13 \div 14$ IR), posizioni boresight, G, F.	273
D.30 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga i (bands = $38 \div 39$ IR), posizioni boresight, G, F.	274
D.31 Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga l (bands = $74 \div 75$ IR), posizioni boresight, G, F.	275
D.32 Parametri elettrici del motore dello specchio di scansione M1 di VIRTIS-M: seno e coseno dell'angolo elettrico, corrente assorbita sulle lines= $0 \div 122$	276
D.33 Parametri elettrici del motore dello specchio di scansione M1 di VIRTIS-M: seno e coseno dell'angolo elettrico, corrente assorbita sulle lines= $123 \div 255$. . .	277
D.34 Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands= $0 \div 55$	278
D.35 Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands= $56 \div 110$	279
D.36 Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands= $111 \div 165$	280

D.37 Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands=166 ÷ 220.	281
D.38 Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands=221 ÷ 275.	282
D.39 Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands=276 ÷ 330.	283
D.40 Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands=331 ÷ 385.	284
D.41 Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands=386 ÷ 437.	285
D.42 Intensità del segnale sull'ordine principale VIS e sugli ordini superiori IR nell'intervallo spettrale bands=78 ÷ 133.	286
D.43 Intensità del segnale sull'ordine principale VIS e sugli ordini superiori IR nell'intervallo spettrale bands=134 ÷ 189.	287
D.44 Intensità del segnale sull'ordine principale VIS e sugli ordini superiori IR nell'intervallo spettrale bands=190 ÷ 245.	288
D.45 Intensità del segnale sull'ordine principale VIS e sugli ordini superiori IR nell'intervallo spettrale bands=246 ÷ 300.	289
D.46 Intensità del segnale sull'ordine principale VIS e sugli ordini superiori IR nell'intervallo spettrale bands=301 ÷ 355.	290
D.47 Intensità del segnale sull'ordine principale VIS e sugli ordini superiori IR nell'intervallo spettrale bands=356 ÷ 410.	291
D.48 Intensità del segnale sull'ordine principale VIS e sugli ordini superiori IR nell'intervallo spettrale bands=411 ÷ 437.	292
D.49 Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=0÷35.	293
D.50 Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=36÷70.	294
D.51 Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=71÷100.	295
D.52 Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=101÷130.	296
D.53 Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=131÷160.	297
D.54 Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=161÷190.	298
D.55 Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=191÷220.	299
D.56 Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=221÷250.	300
D.57 Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=251÷280.	301
D.58 Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=281÷310.	302
D.59 Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=311÷340.	303
D.60 Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=341÷370.	304
D.61 Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=371÷400.	305
D.62 Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=401÷431.	306
D.63 Parametri di housekeeping delle sessioni F43P146, F43P321, F43P350, F43PF4 di calibrazione interna in volo di Rosetta-VIRTIS-M.	307
D.64 Parametri di housekeeping delle sessioni F43PG37, F43Q010, F43Q250, F43Q358 di calibrazione interna in volo di Rosetta-VIRTIS-M.	308
D.65 Parametri di housekeeping delle sessioni F44OD39, F44UA45, F49A527, F49B438 di calibrazione interna in volo di Rosetta-VIRTIS-M.	309

D.66 Parametri di housekeeping delle sessioni F49O738, F49P438, F49Q78, F49S857 di calibrazione interna in volo di Rosetta-VIRTIS-M.	310
D.67 Parametri di housekeeping delle sessioni F49U952, F534G40, F535730, F53TH0 di calibrazione interna in volo di Rosetta-VIRTIS-M.	311
D.68 Parametri di housekeeping delle sessioni F57459, F637C30 di calibrazione in- terna in volo di Rosetta-VIRTIS-M.	312



Introduzione

Nel corso dell'ultimo decennio l'esplorazione planetaria ha potuto beneficiare dei dati prodotti dagli spettrometri ad immagine: grazie a questa nuova classe di strumenti, realizzati per l'osservazione in remoto di superfici ed atmosfere planetarie, é possibile acquisire dati iperspettrali con elevati poteri risolutivi spaziali e spettrali. Il principale vantaggio offerto dagli spettrometri ad immagine, rispetto alle camere ed agli spettrometri puntuali, é rappresentato dalla capacità di misurare, identificare e mappare le unità composizionali delle superfici planetarie; queste informazioni permettono di investigare sia l'evoluzione geochimica delle superfici sia la dinamica e la composizione delle atmosfere.

Sebbene i primi spettrometri ad immagine siano stati francesi (Phobos/ISM, Imaging Spectrometer for Mars) e statunitensi (Galileo/NIMS, Near Infrared Mapping Spectrometer), il nostro paese nel corso degli ultimi anni é stato in grado di proporre alla comunità spaziale internazionale degli strumenti dalle elevate prestazioni che sono stati infatti accettati come payload scientifici su diverse missioni interplanetarie: dai canali visibili di VIMS (Visual and Infrared Mapping Spectrometer) su Cassini (Nasa, JPL, ESA, ASI) e di OMEGA (Observatoire pour la Minéralogie, l'Eau, les Glaciers et l'Activité de Mars) su MarsExpress (ESA) ai due VIRTIS (Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer) su Rosetta (ESA) e VenusExpress (ESA) fino a VIR-MS (Visible and Infrared Mapping Spectrometer) su Dawn (Nasa). In questo momento inoltre altri due spettrometri sono in avanzata fase di studio: JIRAM (Jovian InfraRed Auroral Mapper) su Juno (missione New Discovery Nasa) e VIHI (Visible and Infrared Hyperspectral Imager) integrato nel payload italiano di remote sensing Simbiosys di BepiColombo (missione cornerstone ESA).

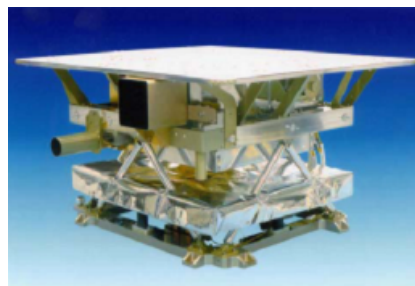
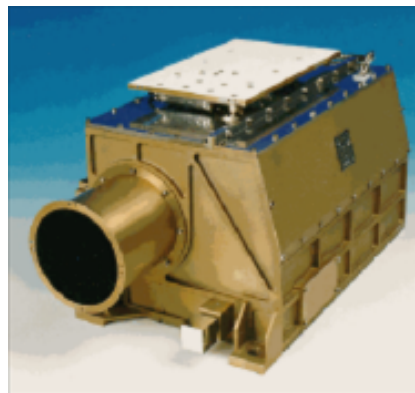
La realizzazione di uno spettrometro ad immagini da utilizzare su una missione interplanetaria richiede un'accurata analisi in fase progettuale e realizzativa dei parametri e delle

prestazioni strumentali; in generale infatti non solo sarà necessario mantenere le dimensioni, il peso, i consumi elettrici ed il data-volume entro i requisiti disponibili del satellite ma anche ottimizzare i disegni ottici, meccanici ed elettronici al fine di ottenere le massime prestazioni possibili in funzione della natura del target osservato e dei parametri orbitali della missione.

Questa tesi descrive i metodi utilizzati per caratterizzare il funzionamento di spettrometri ad immagine per l'esplorazione planetaria. L'attività svolta ha riguardato sia la misura in laboratorio dei parametri strumentali fondamentali sia l'analisi dei dati in volo su cui verificarne ed eventualmente correggerne la risposta. Il funzionamento degli strumenti e la metodologia di calibrazione vengono descritti nelle due parti principali e nelle appendici di questa tesi per gli esperimenti Cassini-VIMS-V e Rosetta-VIRTIS-M.

La prima parte è dedicata all'esperimento VIMS-V sul satellite Cassini, il cui disegno ottico, originariamente proposto da Francis Reininger, verrà successivamente riutilizzato e perfezionato su VIRTIS-M (Reininger et al., 1994; Miller et al., 1996). Il capitolo 1 contiene una descrizione dei parametri ottici, strutturali, termici ed elettronici di VIMS-V mettendone in risalto gli aspetti più innovativi del progetto. Vengono inoltre descritti la collocazione dell'esperimento sul satellite Cassini, il coallineamento con gli altri strumenti di remote sensing, i possibili modi operativi ed il formato dei dati scientifici. Il capitolo 2 riguarda il processo di calibrazione ed analisi dei dati in volo di VIMS-V. La procedura eseguita per calibrare radiometricamente lo strumento utilizzando i dati della superficie della Luna e per stimare il flat-field mediante i dati dell'atmosfera di Venere viene dettagliatamente descritta assieme agli algoritmi utilizzati per la rimozione di diversi effetti strumentali (read-out noise e tilt spettrale); alcuni di questi effetti sono stati caratterizzati e dettagliatamente misurati in laboratorio utilizzando il modello spare (flight) di VIMS-V. Parte del capitolo è dedicata alla verifica della procedura di calibrazione su diversi target aventi caratteristiche spettro-radiometriche note. Questi algoritmi di processamento sono correntemente utilizzati dal team scientifico di VIMS per calibrare i dati del canale -VIS rilasciati ufficialmente alla comunità scientifica internazionale attraverso il Planetary Data System (PDS) della Nasa.

La seconda parte riguarda l'esperimento VIRTIS-M sul satellite Rosetta. Il capitolo 3 contiene la descrizione dello strumento mettendo in risalto l'evoluzione dal precedente progetto VIMS-V ed i problemi tecnologici e costruttivi da questo derivanti. I diversi modi operativi, la sequenza di acquisizione e di processamento dei dati nell'elettronica principale sono ampiamente discussi. Viene inoltre evidenziata la collocazione dello spettrometro sul satellite Rosetta. Nel capitolo 4 viene descritta l'attività di calibrazione effettuata in Galileo Avionica (Campi Bisenzio, FI) ed allo IAS (Orsay, Francia) subito dopo l'integrazione di VIRTIS ed il conseguente processamento dei dati necessario per ricavare i principali parametri di funzionamento (cali-



brazioni spettrali e geometriche, flat-field, funzioni di trasferimento, lampade di calibrazione interne). Nel capitolo 5 l'accuratezza di queste grandezze é stata verificata su i primi dati in volo ottenuti da VIRTIS-M durante la fase di commissioning e di cruise del satellite (sostanzialmente Terra, Luna e Saturno); queste osservazioni sono inoltre state utilizzate per migliorare e verificare alcuni aspetti della procedura di calibrazione che non erano stati sufficientemente definiti durante i test a terra.

L'appendice A riguarda il formato PDS (Planetary Data System) utilizzato per l'archiviazione dei dati e degli housekeepings ingegneristici e scientifici delle osservazioni; nell'appendice B é contenuta la descrizione del modello radiometrico teorico di VIRTIS-M utilizzato per stimare il rapporto segnale/rumore; nelle appendici C e D sono infine contenute diverse Tabelle non incluse nel testo delle parti principali a causa della loro lunghezza.

Parte I

Cassini VIMS-V

L'esperimento VIMS-V

Il tutto é più della somma delle parti.

Metaphysica. Aristotele

1.1 Introduzione

L'esperimento VIMS (Visual and Infrared Mapping Spectrometer) su Cassini consiste di tre componenti principali (Figura 1.1): le teste ottiche -VIS ed -IR e l'elettronica principale (Main Electronics, ME). Lo spettrometro VIS, realizzato in Italia, é in configurazione push-broom e copre il range spettrale 300-1050 nm; il canale IR, realizzato negli USA apportando diverse migliorie al precedente Galileo-NIMS (Near Infrared Mapping Spectrometer) opera in configurazione whiskbroom nel range 850-5050 nm. L'elettronica principale, infine, realizzata negli USA ed in Francia, fornisce l'interfacciamento con il bus del satellite, gestisce le operazioni delle due teste ottiche e provvede alla compressione dei dati. Gran parte di questo capitolo é dedicato alla descrizione di VIMS-V; l'elettronica principale viene descritta nella sezione 1.5; per la descrizione dettagliata dell'esperimento, incluso il canale -IR, si rimanda a Brown et al. (2004).

1.2 Disegno ottico

VIMS-V é uno spettrometro ad immagine (Figura 1.2) che opera nel range spettrale compreso tra 300 e 1050 nm con una risoluzione spettrale nominale di 7.3 nm (1.46 nm in alta risoluzione) e con una risoluzione spaziale nominale di 500 μ rad (166 μ rad in alta risoluzione). Queste prestazioni sono state ottenute grazie all'impiego di un telescopio Shafer in configurazione Burch invertita (D=45 mm, F=143 mm, f#=3.2) accoppiato ad uno spettrometro Offner (Reininger et al., 1994; Miller et al., 1996).

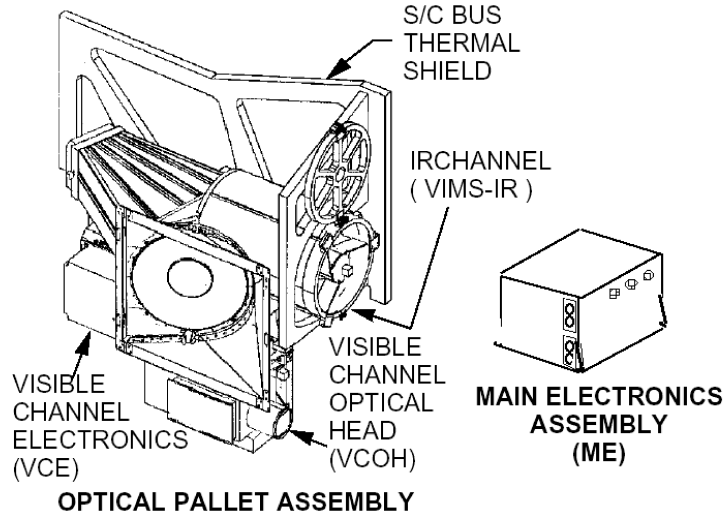


Figura 1.1: L'esperimento Cassini-VIMS: elettronica principale, canali -VIS ed -IR .

Il fascio ottico entrante attraverso il paraluce esterno viene riflesso dallo specchio sferico primario e di scansione M1 del telescopio Burch, ripiegato dallo specchio piano M2 e quindi inviato al secondario M3 (Figura 1.3). Gli specchi M4 e M5 costituiscono il relay che permette di focalizzare il fascio sulla fenditura di ingresso ($20\ \mu\text{m} \times 6\ \text{mm}$) dello spettrometro Offner costituito da M6 e dal reticolo di diffrazione convesso G. L'immagine della fenditura viene quindi inviata sul reticolo, diffratta da questo e riflessa da M6 sul piano focale (CCD, transfer frame, 256×512 pixels, pixel pitch $24\ \mu\text{m}$). Essendo il sistema telecentrico l'immagine della fenditura viene diffratta dal reticolo olografico e quindi registrata lungo le colonne della CCD: in questo modo ciascuna colonna di pixels rappresenta l'immagine monocromatica della fenditura mentre ciascuna riga lo spettro del corrispondente punto spaziale. L'acquisizione dell'immagine bidimensionale del target avviene in modalità pushbroom: muovendo lo specchio di scansione M1 di un angolo corrispondente alla larghezza della fenditura ed in direzione ortogonale all'asse di quest'ultima è possibile realizzare la scansione spaziale sul target.

Per poter apprezzare pienamente i vantaggi apportati da questa configurazione ottica è necessario analizzare il cammino del fascio ottico nello strumento in funzione delle riflessioni subite ad opera degli specchi. In Figura 1.4 è mostrato un grafico contenente la proiezione sul piano YY' di un fascio obliquo parassiale attraverso il sistema ottico. Per definizione un fascio obliquo è un fascio avente il raggio marginale e principale del sistema come sue proiezioni su due piani mutuamente ortogonali. Sul piano YY' è quindi possibile graficare le proiezioni del raggio marginale e principale sul piano ortogonale all'asse ottico: l'ascissa Y' rappresenta la distanza del fascio principale dall'asse ottico; l'ordinata Y l'altezza del fascio marginale. L'asse ottico di VIMS-V è perpendicolare al grafico ed uscente dall'origine del riferimento.

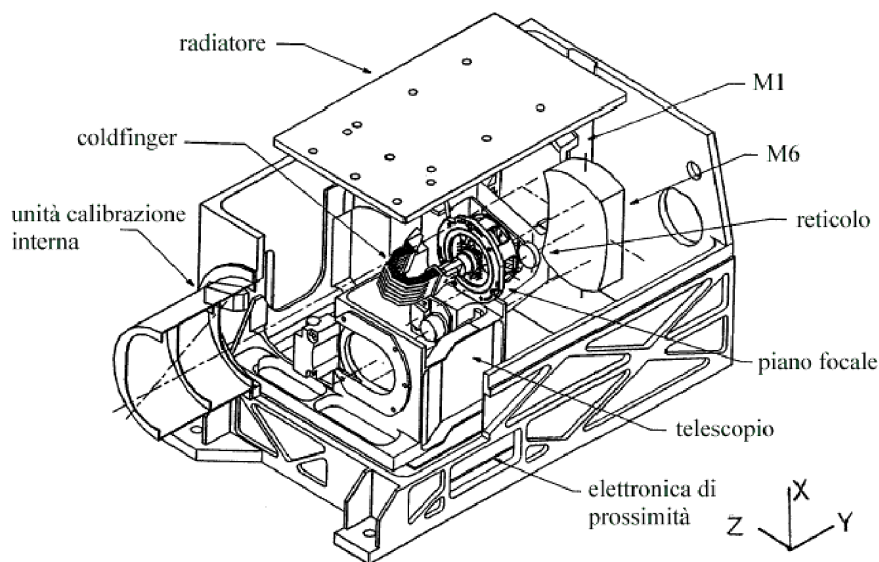


Figura 1.2: Disegno della testa ottica dell'esperimento VIMS-V (Galileo Avionica).

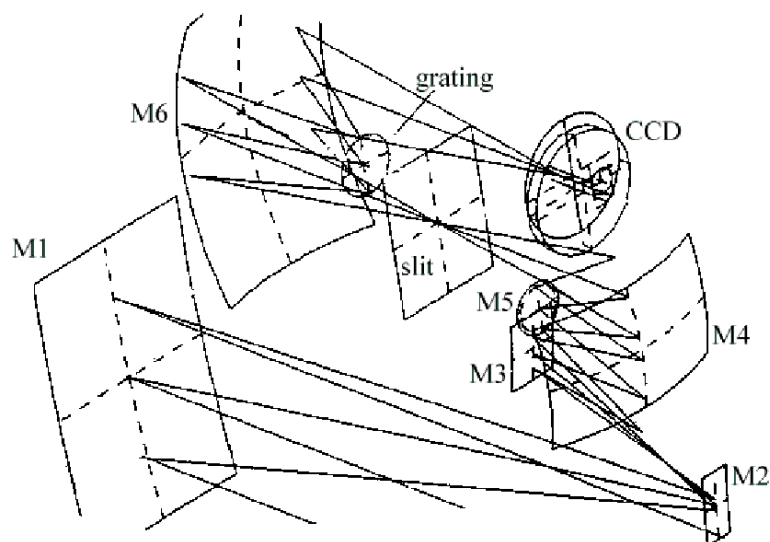


Figura 1.3: Disegno ottico dell'esperimento VIMS-V (Galileo Avionica).

Il fascio entrante nell'ottica (tratto A-B in Figura 1.4) è collimato in quanto, per costruzione, il fascio marginale è parallelo all'asse ottico; il fascio principale attraversa l'asse ottico nel punto corrispondente alla pupilla del sistema posta a 86.0 cm dal vertice di M1 (esternamente al paraluce di ingresso).

La pupilla del sistema corrisponde all'immagine del reticolo nello spazio dell'oggetto vista attraverso la fenditura e l'ottica. Questa regione dello spazio è estremamente importante nel funzionamento dello spettrometro in quanto solo i raggi passanti perpendicolarmente attraverso di essa possono illuminare il reticolo e raggiungere il piano focale.

Il diametro della pupilla risulta essere uguale a 4.5 cm in quanto il fascio marginale in ingresso é ad una quota di 2.25 cm dall'asse ottico; la pupilla ha una forma leggermente ellittica, allungata in verticale ovvero lungo l'asse della fenditura, a causa del disegno fuori asse del sistema. Il posizionamento esterno della pupilla facilita la realizzazione di un'ottica telecentrica e l'accoppiamento tra il telescopio e lo spettrometro.

Dopo la riflessione su M1 i fasci marginale e principale riducono le loro distanze dall'asse ottico (tratto B-C) e raggiungono il folding mirror M2 collocato prima che il fascio marginale attraversi l'asse ottico. M2 quindi risulta essere il field-stop del sistema: la sua posizione ravvicinata ad M1 comporta una riduzione della quantità di straylight proveniente dalle superfici interne del telescopio illuminate dal fascio. In questo modo si riduce il numero di baffles e trappole di luce interni (posizionati tra il paraluce esterno ed M1 al fine di limitare le riflessioni parassite sul primario) e si rende necessaria una elevata precisione di lavorazione delle sole superfici ottiche di M1 ed M2. Il fascio prosegue quindi sul tratto C-D (parallelo al B-C), per subire la riflessione sul secondario convesso del telescopio M3 che lo rimanda sul primario M4 del relay Offner seguendo il tratto D-E a $Y' = cost$. Il fascio attraversa l'asse ottico sul secondario M5 del relay in cui $Y' = 0$ e che risulta essere l'apertura stop del sistema; come tale l'immagine di M5 nello spazio dell'oggetto corrisponde alla pupilla del sistema: soltanto i fasci passanti attraverso la pupilla e paralleli all'asse ottico possono raggiungere M5 e quindi il piano focale.

Una seconda riflessione su M4 (tratto F-G) porta il fascio sulla fenditura dello spettrometro seguendo il tratto G-H: in questa posizione il fascio marginale attraversa nuovamente l'asse ottico. Questa condizione indica che la fenditura é anche il field stop del sistema e che i raggi che la attraversano sono paralleli all'asse ottico (telecentrismo).

Il fascio, diffratto dalla fenditura, segue un cammino analogo al precedente all'interno del relay Offner dello spettrometro: il tratto H-I corrisponde al passaggio attraverso la fenditura fino alla prima riflessione su M6, I-L da M6 al reticolo di diffrazione, L-M dal reticolo alla seconda riflessione su M6. In tutto ciò il fascio principale attraversa l'asse ottico in corrispondenza del reticolo: per costruzione quindi anche il reticolo é un aperture stop (Lyot stop) essendo coniugato a M5 (sono simmetrici rispetto all'origine). Poiché l'apertura-stop dello spettrometro é prossima al piano focale risultano essere ridotte drasticamente il numero delle superfici esterne viste da quest'ultimo. Inoltre il reticolo funziona anche da cold-stop essendo raffreddato passivamente attraverso il contatto termico con un radiatore esterno: in questo modo viene ridotta l'emissione termica delle pareti dello spettrometro vista dal piano focale.

Questo concetto, di scarso rilievo negli spettrometri operanti nel visibile come VIMS-V, riveste un ruolo fondamentale per strumenti come VIRTIS-M in cui, avendo un range spettrale esteso al vicino infrarosso, é necessario ridurre il contributo termico delle pareti interne dello strumento sia attraverso il disegno ottico sia mediante un idoneo raffreddamento dello strumento. Per una descrizione dettagliata di questi effetti in VIRTIS-M si rimanda al capitolo 3 ed all'Appendice B.

L'ultimo tratto M-N porta il fascio sul fuoco del sistema posto in corrispondenza del piano focale.

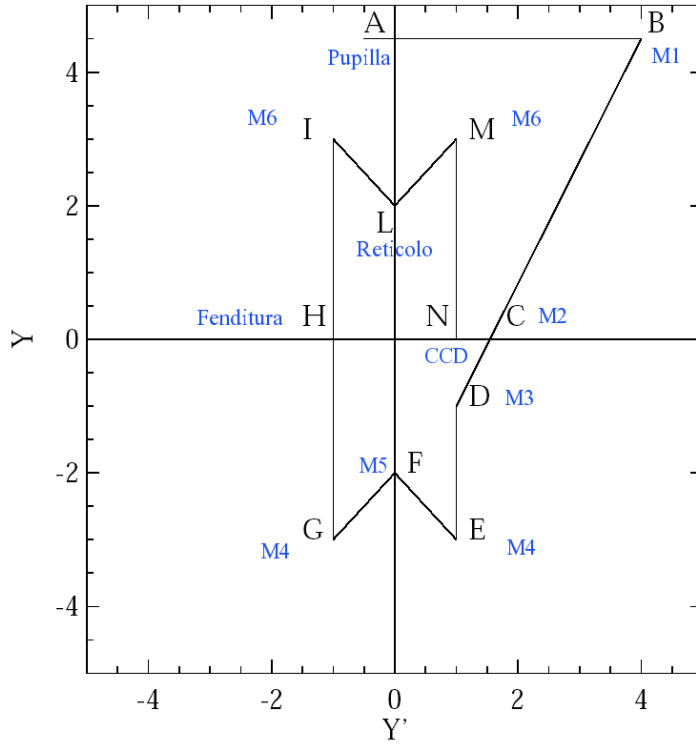


Figura 1.4: Diagramma delle distanze del fascio principale e marginale dall'asse ottico di VIMS-V per il cammino ottico passante dalla pupilla al piano focale (CCD). I punti aventi $Y' = 0$ sono delle aperture stop (pupilla, M5, reticolo) mentre quelli con $Y = 0$ sono dei field stop (M2, fenditura e piano focale).

Nonostante la complessità del disegno ottico, l'impiego di elementi sferici ed in gran parte simmetrici, come i due Offner relays, permette di ridurre drasticamente le aberrazioni, il coma e la straylight interna sul piano focale, oltre che a facilitare l'allineamento del telescopio e dello spettrometro durante il montaggio.

In Tabella 1.1 sono riportati i principali parametri meccanici, ottici ed elettronici dell'esperimento.

Vediamo in maggior dettaglio alcuni di questi parametri strumentali.

L'IFOV corrisponde al campo di vista sotteso dal singolo pixel e dipende dal rapporto tra il lato del pixel d_p e la focale dell'ottica F:

$$IFOV = 206265 \frac{d_p}{F} [\text{arcsec}] \quad (1.1)$$

Per VIMS-V essendo $d_p = 24 \mu\text{m}$ e $F = 143 \text{ mm}$ risulta che l'IFOV è pari a 34.6 arcsec ovvero a 167 μrad (in modalità alta risoluzione). Da questa grandezza derivano sia la scala S con cui si osserva un oggetto posto a distanza D (in km dallo strumento):

VIMS-V		
Proprietà spettrali	Range spettrale	350-1050 nm (Spectral Offset=1)
	Range spettrale	300-1000 nm (Spectral Offset=0)
	Campionamento spettrale nominale	7.3 nm/band (96 bands)
	Campionamento spettrale alta risoluzione	1.66 nm/band (480 bands)
Proprietà spaziali	IFOV nominale	$500 \times 500 \mu\text{rad}$
	IFOV alta risoluzione	$166 \times 166 \mu\text{rad}$
	FOV nominale	$1,83^\circ \times 1,83^\circ$ (64 sample, 64 lines)
	FOV alta risoluzione	$0,61^\circ \times 0,61^\circ$ (64 sample, 64 lines)
Telescopio	Area pupilla	$15,9 \text{ cm}^2$
	Diametro pupilla	45 mm
	Lunghezza focale	143 mm
	$f/\#$	3,2
	$A\Omega$	$4,42 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ sterad}$
Spettrometro	Dimensioni fenditura	$20 \mu\text{m} \times 6 \text{ mm}$
	Densità delle linee del reticolo	349.8 linee/mm
	Dispersione sul piano focale	60.81 nm/mm
CCD	Dimensione attiva	$512 \times 256 \text{ pixels}$
	Dimensione del pixel	$24 \times 24 \mu\text{m}$
	Full well capacity	$300000 e^-$ (4095 DN)
	Rumore di read-out	$18 e^-$
	Dark current a -20° C	$12 e^-$
	A/D converter	12 bits (0÷4095 livelli)
	Tempo di integrazione	$50 \text{ ms} \div 130 \text{ s}$
Filtri	Primo segmento	$300 \div 600 \text{ nm}$
	Secondo segmento	$600 \div 1050 \text{ nm}$
	Lumogen	$300 \div 490 \text{ nm}$
Temperature di esercizio	CCD	$-40^\circ \div -20^\circ \text{ C}$
	Ottica	$-10^\circ \div +20^\circ \text{ C}$
	Elettronica	$-20^\circ \div +50^\circ \text{ C}$
Masse	Testa ottica (VCOH)	4,63 kg
	Elettronica (VCE)	2,56 kg

Tabella 1.1: Parametri meccanici, ottici ed elettronici di VIMS-V.

$$S \left[\frac{km}{pixel} \right] = IFOV[rad] \cdot D[km] \quad (1.2)$$

che il campo di vista FOV sotteso dall'intera fenditura (estesa 64 pixels):

$$FOV = 64 \cdot IFOV \quad (1.3)$$

In modalità alta risoluzione quindi il FOV di VIMS-V è pari a 0.61° ; in modalità nominale sia l'IFOV che il FOV aumentano di un fattore 3. La rapidità ottica (throughput) $A\Omega = 4.42 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ sterad}$ di VIMS-V è data dal prodotto tra l'area del pixel ($A_p = (24 \mu\text{m})^2 = 576 \mu\text{m}^2$) e l'angolo solido Ω che la pupilla sottende sul piano focale:

$$\Omega = 2\pi \left[1 - \cos \left(\frac{1}{2f/\#} \right) \right] \quad (1.4)$$

Essendo $f/\# = 3.2$ per VIMS-V si ha $\Omega = 0.076 \text{ sterad}$; questa grandezza permette di valutare la quantità di energia radiante trasportata dal fascio attraverso l'ottica fino al singolo pixel.

1.2.1 Telescopio Shafer

I requisiti di peso e volume imposti in fase di progettazione e sviluppo all'esperimento VIMS-V hanno portato all'adozione di un disegno ottico particolarmente compatto ed innovativo. Come abbiamo visto nella precedente sezione lo strumento utilizza un telescopio in configurazione Shafer ottenuto mediante l'accoppiamento di un telescopio Burch invertito ad un relay Offner.

Il telescopio Burch consiste negli specchi sferici M1 ed M3 (Figura 1.5): lo specchio di ripiegamento M2 viene utilizzato solo per deviare il fascio e ridurre l'ingombro dello strumento integrato.

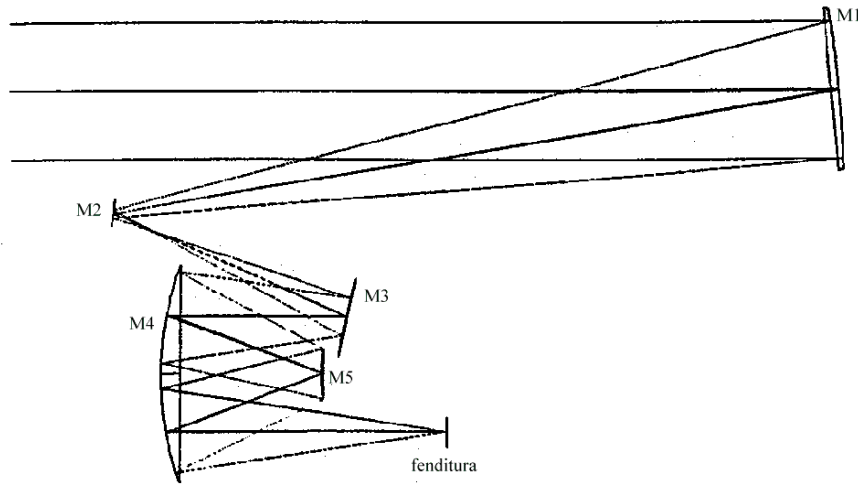


Figura 1.5: Disegno ottico del telescopio Shafer di VIMS-V (Galileo Avionica).

Il relay Offner corrisponde agli specchi M4 ed M5 ed opera ad ingrandimento unitario sui due punti coniugati di entrata ed uscita; il compito del relay Offner é quindi quello di rendere piatta e reale l'immagine curva e virtuale creata dal telescopio Burch. Essendo entrambi i sistemi costituiti da specchi sferici il risultato finale é un'immagine anastigmatica.

Una delle principali caratteristiche del telescopio é quella di fornire anche la scansione spaziale sul target osservato ed il puntamento dello strumento entro un range di $\pm 1.8^\circ$ rispetto alla posizione dell'asse ottico. Questo é possibile grazie al meccanismo di scansione e puntamento su cui é montato M1 attraverso dei pivot di flessione ultra sensibili per ridurre gli stress meccanici. Un motore sincrono, controllato dall'elettronica, é in grado di spostare lo specchio e di fornire il movimento di scan lungo la direzione $\pm Z$ (ortogonale alla fenditura). Il passo di scansione viene impostato su due angoli diversi in accordo con la risoluzione spaziale decisa per l'osservazione. In caso di failure del motore lo specchio M1 si posiziona comunque in corrispondenza dell'asse ottico. Durante le calibrazioni pre-lancio le posizioni di M1 sono state caratterizzate in funzione dei parametri elettrici del motore (seno e coseno dell'angolo elettrico e corrente assorbita). Questi parametri vengono trasmessi dallo strumento insieme ai dati scientifici in maniera tale da poter verificare in volo il corretto funzionamento dell'unit  (vedi Appendice A.1). In sezione 1.6 verranno descritte le modalit  operative e le conseguenti movimentazioni dello specchio; in Tabella C.3 sono riportati i parametri dell'unit  di scansione per ogni step della scansione.

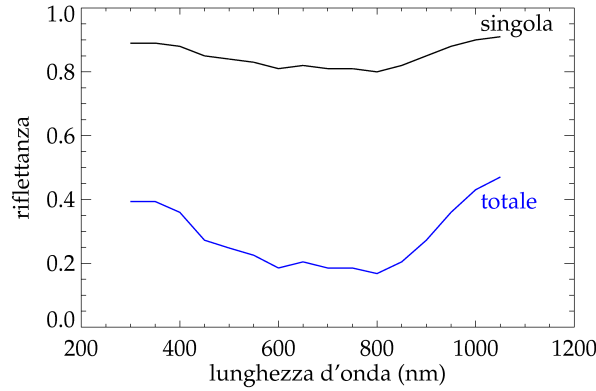


Figura 1.6: Riflettanza spettrale $\rho_{\text{coating sp.}}$ del coating del singolo specchio e totale di VIMS-V.

Durante la fase realizzativa delle ottiche é stata posta particolare cura nella scelta del trattamento riflettente da applicare sulle superfici degli specchi. I requisiti imposti erano un'elevata riflettanza spettrale su tutto il range spettrale dello strumento, la resistenza del trattamento agli stress meccanici e termici nonch  alle radiazioni. Tutte le superfici riflettenti del telescopio e dello spettrometro sono state depositate con uno strato di alluminio vaporizzato sotto vuoto e quindi rivestito con uno strato di quarzo. La riflettanza spettrale del coating del singolo specchio $\rho_{\text{coating sp.}}$ é tabulata in Tabella 1.2 e graficata in Figura 1.6 insieme alla riflettanza totale dell'ottica ($\rho_{\text{coating sp.}}^8$, essendo 8 il numero di riflessioni compiute dal

λ (nm)	$\rho_{coating\ sp.}$	λ (nm)	$\rho_{coating\ sp.}$
300	0.89	350	0.89
400	0.88	450	0.85
500	0.84	550	0.83
600	0.81	650	0.82
700	0.81	750	0.81
800	0.80	850	0.82
900	0.85	950	0.88
1000	0.90	1050	0.91

Tabella 1.2: Riflettanza spettrale $\rho_{coating\ sp.}$ del coating degli specchi di VIMS-V.

fascio sugli specchi). Un'elevata riflettanza degli elementi ottici é fondamentale per poter massimizzare il flusso fotonico su tutto il range spettrale.

1.2.2 Spettrometro Offner

Lo spettrometro Offner presenta un disegno ottico particolarmente semplice essendo costituito dalla fenditura, da M6 e dal reticolo di diffrazione. In Figura 1.7 é mostrato il cammino ottico di tre raggi passanti attraverso i punti a -3, 0 e +3 mm lungo la fenditura fino al loro arrivo sul piano focale: i fasci vengono riflessi una prima volta da M6 sul reticolo, diffratti da quest'ultimo e quindi riflessi una seconda volta da M6 sul piano focale. Essendo il sistema telecentrico fasci paralleli passanti attraverso la fenditura sono ancora paralleli sul piano focale: basandosi su questo principio lo strumento é in grado di fare imaging attraverso la fenditura. Lungo la direzione spettrale il piano focale raccoglie lo spettro corrispondente all'ordine -1 con una dispersione pari a 60.81 nm/mm.

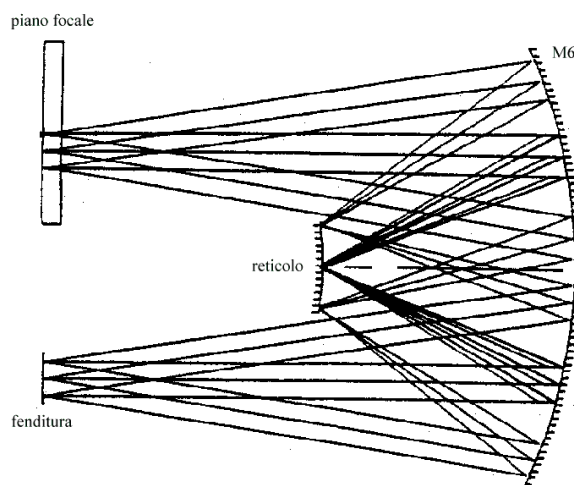


Figura 1.7: Disegno ottico dello spettrometro Offner di VIMS-V (Galileo Avionica).

1.2.3 Reticolo di diffrazione

Un elemento fondamentale del sistema é il reticolo di diffrazione realizzato dalla Zeiss su vetro NG5 convesso su cui sono incisi dei pattern di linee orizzontali (passo di 350 righe/mm e dispersione di 61 nm/mm) e quindi ortogonali all'asse della fenditura, all'interno di 5 corone circolari concentriche (cerchi di Rowland) in cui la profondità é diversa ed alternata tra corone successive; complessivamente il 68% dell'area del reticolo é costituita da linee profonde 285 nm mentre il rimanente 32% da linee profonde 420 nm. Questo disegno ottico é stato realizzato al fine di ridurre la straylight e per ottimizzare la diffrazione lungo tutta l'estensione della fenditura. Lo spettrometro utilizza l'ordine -1 diffratto dal reticolo secondo lo schema riportato in Figura 1.8.

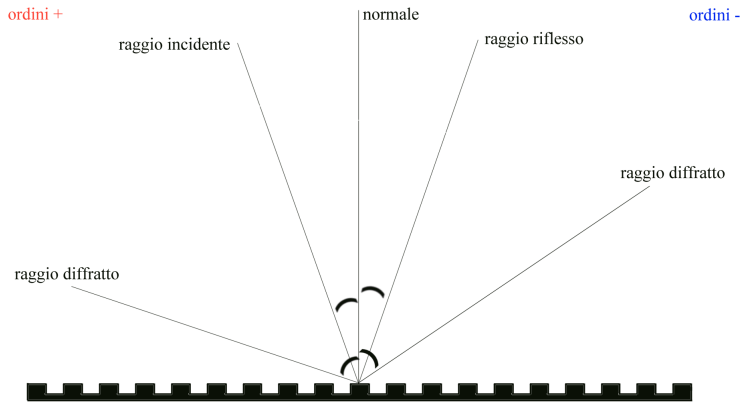


Figura 1.8: Schema della diffrazione di un fascio incidente su un grating e definizione degli ordini.

L'equazione del grating fornisce l'angolo di dispersione β (rispetto alla normale alla superficie del reticolo) della lunghezza d'onda λ per l'ordine m :

$$\beta(\lambda, m) = \arcsin \left(\frac{m\lambda}{d} - \sin \alpha \right) \quad (1.5)$$

dove α é l'angolo formato dal fascio incidente rispetto alla normale alla superficie del reticolo. Sull'ordine zero ($m=0$) il reticolo si comporta come uno specchio e $\beta = \alpha$. L'ordine -1 corrisponde ad una differenza di cammino ottico tra due i due fasci di 1λ (Riedl, 2001). Dall'equazione 1.5 risulta che la luce a lunghezza d'onda λ diffratta dall'ordine m si sovrappone a quella a $\lambda/2$ dell'ordine $m+1$. Nonostante l'ordine $m+1$ abbia una intensità molto inferiore all'ordine m si rende necessario utilizzare dei filtri passa banda per eliminare la contaminazione del segnale sul piano focale; la descrizione della caratteristiche dei filtri impiegati sul piano focale di VIMS-V segue nel paragrafo 1.3.2.

Il reticolo é stato realizzato con la tecnica dell'incisione olografica utilizzando due onde piane monocromatiche incidenti simmetricamente rispetto all'asse del reticolo: questo metodo garantisce la massima accuratezza di realizzazione del pattern delle linee e del fronte d'onda diffratto. La risposta spettrale della sensibilità della CCD, che presenta un massimo attorno

Sezione	D(mm)	$\theta(^{\circ})$	Profondità linee (nm)
0	6.25	3.926	420
1	10.96	6.896	285
2	12.62	7.947	420
3	15.50	9.777	285
4	18.00	15.244	420
5	24.00	n. d.	

Tabella 1.3: *Proprietà delle sei regioni concentriche del reticolo di VIMS-V: diametro, angolo di apertura e profondità delle linee.*

ai 600 nm, é compensata dalla curva di efficienza del reticolo. Per questo motivo il profilo di linee laminari é vantaggioso in quanto garantisce una efficienza massima del primo ordine alle lunghezze d'onda $\lambda_i = 4H/(2i - 1)$ con $i=1,2,\dots$ ed un'efficienza minima a $\lambda_j = 4H/2j$ con $j=1,2,\dots$. L'efficienza minima, comunque, tende a zero. Al fine di ottenere un'efficienza minima del 13% a $\lambda=600$ nm e più del 30% a $\lambda=300$ nm e 1050 nm, la superficie del reticolo é suddivisa in aree con due diverse profondità delle linee pari ad $H_1 = 420$ nm ed $H_2 = 285$ nm con un rapporto di aree pari a $V=0.675$.

L'efficienza spettrale complessiva del reticolo é data dalla media pesata sulle singole efficienze rispetto alle proiezioni delle aree delle due regioni lungo l'asse ottico.

Con riferimento alla Figura 1.9 i valori dei diametri dei cinque cerchi di Rowland e delle rispettive aperture angolari sono date nella Tabella 1.3.

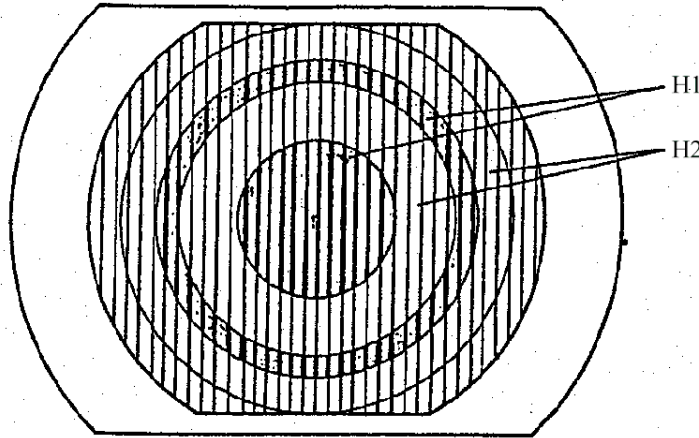


Figura 1.9: *Disegno del reticolo di diffrazione di VIMS-V (Zeiss).*

La sezione 5 non contiene linee e definisce il bordo utile per la diffrazione. Tenendo conto della convessità della superficie del reticolo (raggio di curvatura $R=45,640$ mm) l'area ortogonale all'asse ottico del reticolo della sezione 0 é data da:

$$A_0 = \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\theta_0} R^2 \sin \theta d\theta = 2\pi R^2 (1 - \cos \theta_0) \quad (1.6)$$

e quindi l'area utile (in mm²) di ciascuna sezione del reticolo é data da:

$$A_0 = 2\pi R^2(1 - \cos \theta_0) = 30.710 \quad (1.7)$$

$$A_1 = 2\pi R^2(1 - \cos \theta_1) - A_0 = 63.972 \quad (1.8)$$

$$A_2 = 2\pi R^2(1 - \cos \theta_2) - (A_0 + A_1) = 31.010 \quad (1.9)$$

$$A_3 = 2\pi R^2(1 - \cos \theta_3) - (A_0 + A_1 + A_2) = 64.395 \quad (1.10)$$

$$A_4 = 2\pi R^2(1 - \cos \theta_4) - (A_0 + A_1 + A_2 + A_3) = 270.413 \quad (1.11)$$

$$(1.12)$$

L'area complessiva del reticolo (in mm²) é data da

$$A_{tot} = 2\pi R^2(1 - \cos \theta_4) = 460.501 \quad (1.13)$$

Nella Tabella C.1 é riportata l'efficienza totale η_{tot} del reticolo delle due regioni di linee separate η_{285} e η_{420} ; gli stessi valori sono graficati in Figura 1.13.

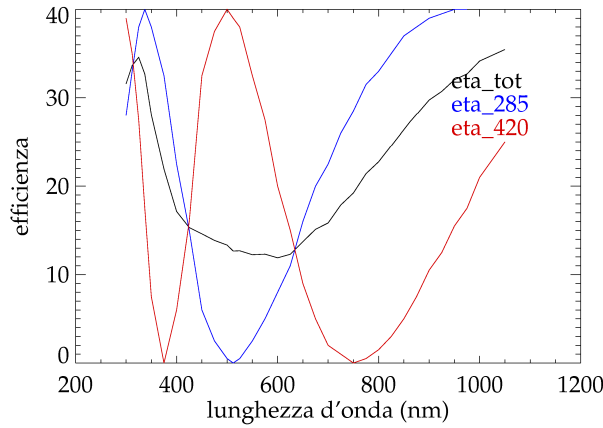


Figura 1.10: *Efficienza spettrale del reticolo di VIMS-V.*

Il reticolo contribuisce al funzionamento dello strumento non solo in termini di efficienza di dispersione spettrale ma anche grazie alla sua elevata riflettanza $\rho_{coating\ ret.}$ (Figura 1.11, Tabella 1.4).

1.2.4 Porta solare ed unità di calibrazione interna

La porta solare, comprendente l'unità di calibrazione spettrale interna, é stata progettata sia per misurare direttamente l'irradianza solare in condizioni di volo che per verificare eventuali spostamenti spettrali del piano focale o del reticolo.

Questa unità, mostrata in Figura 1.12 é costituita da un prisma collocato in prossimità del paraluce di ingresso e può essere osservata muovendo lo specchio M1 di scansione in corrispondenza dell'asse ottico della porta solare (a 4.2° dall'asse ottico in direzione opposta rispetto ad M2); il prisma contiene una superficie cilindrica che introduce una distorsione

λ (nm)	$\rho_{\text{coating ret.}}$	λ (nm)	$\rho_{\text{coating ret.}}$
300	0.889	350	0.899
400	0.907	450	0.906
500	0.906	550	0.903
600	0.900	650	0.895
700	0.889	750	0.876
800	0.855	850	0.860
900	0.895	950	0.922
1000	0.936	1050	0.947

Tabella 1.4: Riflettanza spettrale $\rho_{\text{coating ret.}}$ del coating del reticolo di diffrazione di VIMS-V.

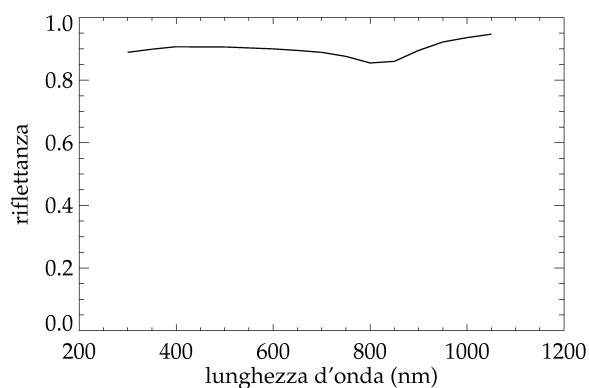


Figura 1.11: Riflettanza spettrale $\rho_{\text{coating ret.}}$ del coating del reticolo di diffrazione di VIMS-V.

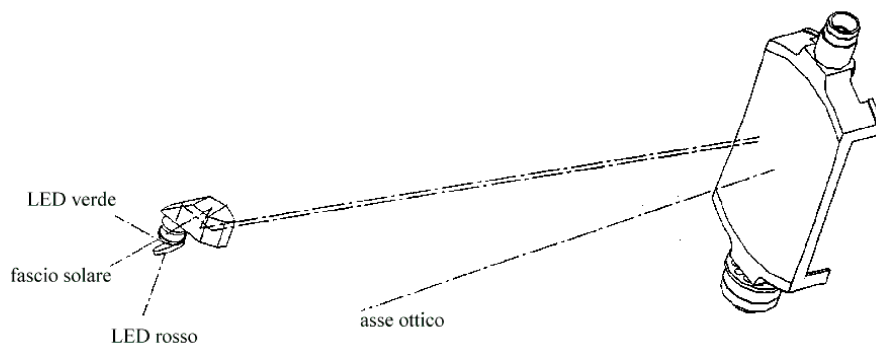


Figura 1.12: La porta solare e lo specchio di scansione M1 di VIMS-V (Galileo Avionica).

anamorfica del segnale in ingresso in modo tale da distribuirlo uniformemente lungo tutta l'estensione della fenditura dello spettrometro.

All'interno del prisma sono stati realizzati due diversi cammini ottici: con il primo si osservano 2 LED calibrati spettralmente (verde, piccato a 563 nm e rosso a 637 nm) con cui si può

verificare la stabilità della calibrazione spettrale. Queste sorgenti spettrali, seppur di bassa intensità, sono accese e misurate utilizzando il modo operativo INTERNAL CALIBRATION descritto nel paragrafo 1.6. La verifica della risposta spettrale dello strumento in condizioni di volo utilizzando il segnale dei LED di riferimento é riportata nel paragrafo 2.2.2

Il secondo cammino ottico é impiegato per osservare direttamente il disco solare al fine di misurarne l'irradianza. In questo caso, per evitare il danneggiamento dei sensori della palette ottica, il satellite viene orientato in modo tale da avere il Sole posizionato a 20° dal boresight di VIMS-V, angolo corrispondente all'asse ottico della porta solare. Alla distanza media Saturno-Sole (9.4 AU), il disco solare presenta un diametro angolare di circa 3 arcmin ($873 \mu\text{rad}$): su questa dimensione é stato dimensionato il FOV della porta solare. L'attenuazione del segnale di ingresso é realizzata sia mediante un filtro attenuatore (di un fattore ≈ 50000) depositato sulla superficie esterna del prisma sia grazie all'anamorfismo di una superficie del prisma che espande lo spot solare in ingresso (3 arcmin) su tutta l'estensione della fenditura (1.8°). Questo tipo di misura al momento non é stata ancora processata poiché sussistono delle difficoltà nel definire l'esatta funzione di trasferimento della porta solare dovute sia all'incertezza dell'attenuazione spettrale del coating che all'anamorfismo del prisma.

1.3 Piano focale e controllo termico

1.3.1 CCD

La CCD impiegata in VIMS-V é un chip della Loral a trasferimento di frame, illuminato frontalmente e costruito con tecnica NMOS su tre livelli di silicio. Il chip di 512×512 pixels, con pixels quadrati di $24 \mu\text{m}$ di lato é suddiviso in una regione sensibile alla luce di 512×256 pixels (righe 257-512) ed in una regione schermata con uno strato di alluminio di 512×256 pixels (righe 1-256) utilizzata come zona di memoria e lettura dei dati.

Questa tecnica costruttiva é utilizzata per evitare l'impiego di uno shutter meccanico per temporizzare l'acquisizione: all'inizio dell'acquisizione infatti un reset della CCD consente l'azzeramento dei conteggi su ogni singolo pixel. Il termine dell'acquisizione coincide con un velocissimo passaggio (dell'ordine di pochi μs) delle cariche registrate dalla zona di acquisizione alla zona memoria; da qui i conteggi di ogni singolo pixel vengono letti per righe attraverso il trasferimento sulla riga 0 di registro collegata al convertitore A/D.

La CCD opera in modalità full-inverted (multi-pin-phase) in modo tale da ridurre la dark current a ≈ 15 fotoelettroni a $T = -20^\circ\text{C}$. La regione sensibile é collocata con la dimensione minore del rettangolo sensibile (256 pixels, righe della CCD o sample del cubo iperspettrale) parallela all'asse della fenditura mentre la dimensione maggiore (512 pixels, colonne della CCD o bands del cubo iperspettrale) é parallela all'asse di dispersione spettrale. Poiché la lettura della regione sensibile avviene lungo le colonne della CCD, eventuali effetti di blooming e di degrado del processo di trasferimento di carica possono influenzare solo la singola colonna; le colonne sono infatti separate sul chip da drogaggi (implementazioni ioniche) che creano delle barriere di potenziale che impediscono il passaggio di elettroni tra colonne adiacenti.

Il chip é collocato su uno strato ceramico (BeO_2) e quindi posizionato all'interno di una

struttura in kovar in modo tale da formare una gabbia di Faraday e garantire l'isolamento elettromagnetico del piano focale.

Nella sezione 1.6 verranno illustrate le possibili modalità operative di VIMS-V ottenute variando i parametri di scansione di M1 e di binning dei pixels sulla CCD.

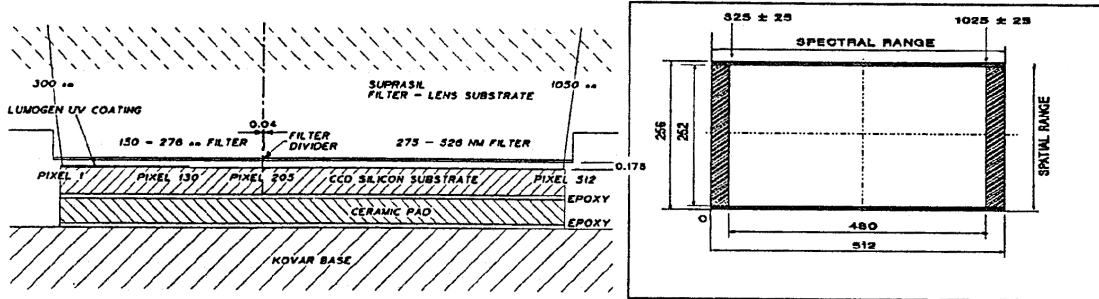


Figura 1.13: Sinistra: sezione del piano focale di VIMS-V. Destra: struttura della CCD (Galileo Avionica).

Al bordo della CCD esistono infine tre colonne (lungo la direzione spaziale della fenditura) di pixels schermate da uno strato opaco di alluminio: questi 192 (64x3) pixels vengono letti per ciascuna acquisizione del piano focale al fine di valutare il valor medio della dark current e l'offset dell'elettronica. Tuttavia nel corso dello svolgimento della missione si è riscontrato che questi conteggi sono mediamente più alti rispetto alla dark effettiva in quanto lo strato di alluminio si trova ad una temperatura leggermente più elevata del piano focale. In sezione 2.5.2 verrà descritto il metodo seguito per rimuovere il contributo della dark current e degli offset introdotti dallo stadio di lettura nei dati in volo di VIMS-V.

1.3.2 Finestra ottica

La CCD, raffreddata passivamente a $\approx -40^\circ\text{C}$ grazie al contatto termico del coldfinger con il radiatore esterno è schermata da una finestra ottica realizzata in suprasil dalla Barr Associates. La finestra chiude ermeticamente la CCD grazie ad un anello di giunzione in indio. L'interno del contenitore del piano focale è riempito con Argon per evitare la sublimazione dello strato di lumogen depositato al suo interno. La finestra è collocata ad un'altezza di 178 μm rispetto alla superficie della CCD in modo da evitare il backscattering dei fotoni.

La finestra ottica svolge le seguenti funzioni:

- riduce gli scambi termici tra la CCD e l'interno dello spettrometro;
- grazie ad uno strato di lumogen depositato al suo interno in corrispondenza della regione spettrale dell'UV-blu (300-440 nm) permette di amplificare il segnale sulla CCD; infatti quando il lumogen viene colpito da un fotone compreso in questo range spettrale riemette un fotone a lunghezza d'onda maggiore in cui il piano focale è maggiormente sensibile. Senza questo accorgimento il detector sarebbe scarsamente sensibile alle basse lunghezze d'onda;

- sulla finestra sono depositati due filtri d'ordine passa alto centrati a 276 nm ed a 576 nm che servono a ridurre gli ordini superiori (secondo e terzo) dello spettrometro così come spiegato nel paragrafo 1.2.3. La zona di giunzione tra i due filtri, larga circa 40 μm , è posta in corrispondenza della colonna 205 sulla CCD; la giunzione tra i filtri è una caratteristica strumentale visibile come un'assorbimento spettrale alla band=35, $\lambda = 599$ nm (modalità spettrale nominale, spectral offset=1).

In Tabella C.2 ed in Figura 1.14 è riportata l'efficienza quantica η_{CCD} della CCD comprensiva del contributo della finestra ottica e dei filtri.

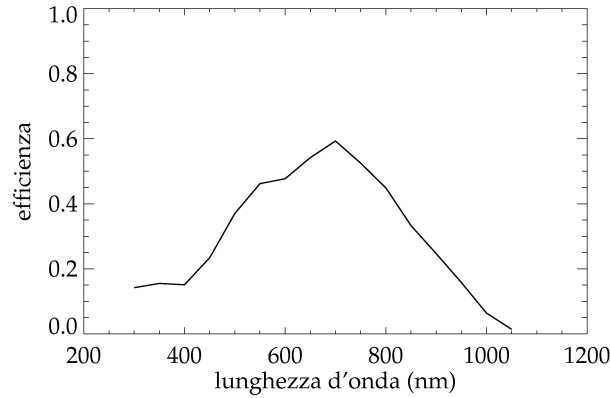


Figura 1.14: Efficienza quantica η_{CCD} della CCD (detector, finestra ottica, filtri) di VIMS-V.

1.4 Controllo termico

Come visto l'unico elemento di VIMS-V ad essere raffreddato passivamente è la CCD mediante un contatto termico che dissipa su un radiatore esterno di dimensioni 20 x 12 cm. Questo garantisce, alla distanza operativa di Cassini dal Sole (≈ 9.4 AU) di mantenere una temperatura compresa nel range $\approx -20^\circ \text{C} \div +40^\circ \text{C}$. La testa ottica è controllata termicamente mediante l'uso di 4 riscaldatori; questi riscaldatori hanno svolto un ruolo fondamentale all'inizio della missione quando sono rimasti accesi durante i primi 150 giorni dopo il lancio, per impedire che particelle prodotte dall'outgassing nel vuoto dalle componenti dello strumento, potessero depositarsi e condensarsi sugli elementi ottici più freddi; in questo modo il calore dissipato dai riscaldatori ha generato un regime convettivo diretto dal piano focale verso il paraluce esterno dello strumento; questo è stato possibile mediante il riscaldamento del piano focale a temperature $< 60^\circ \text{C}$ (limite di stabilità del lumogen) e mantenendo un gradiente di temperatura negativo dallo spettrometro verso il telescopio.

1.5 Elettronica di comando

VIMS-V è costituito da due elementi separati: la testa ottica (OH, Optical Head) che contiene l'elettronica di prossimità (Vis Channel Proximity Electronics, VCPE) e la scatola dell'elettronica (Vis Channel Electronics, VCE). Le due parti sono connesse elettricamente

per consentire l'alimentazione, lo scambio di comandi, dati e telemetrie ed infine il controllo e la dissipazione termica (vedi Figura 1.15). La VCE é asservita all'elettronica di signal-

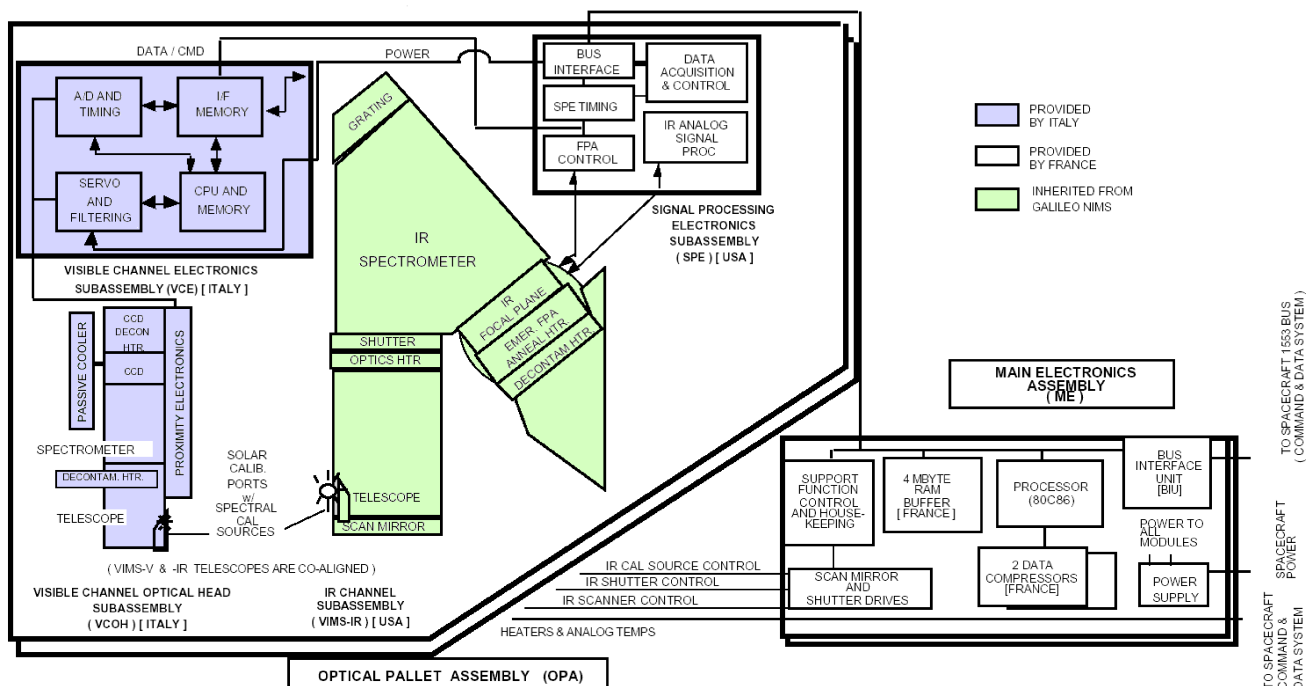


Figura 1.15: Diagramma a blocchi funzionale dell'esperimento VIMS integrato: canali VIS ed IR, Main Electronics.

processing (SPE Signal Processing Electronics) ed all'elettronica principale di VIMS (Main Electronics, ME) adibita al controllo dei canali VIS ed IR ed alla compressione e gestione dei dati.

1.5.1 Vis Channel Proximity Electronics VCPE e Vis Channel Electronics VCE

L'elettronica di prossimità VCPE supporta il driver della CCD, il generatore di fase (FPGA, Full Programmable Gate Array), il preamplificatore, il buffer di amplificazione, i ricevitori di linea ed un interfaccia bi-livello per il settaggio del guadagno dell'amplificatore e l'alimentazione dei led dell'unità di calibrazione interna. Il controllo del meccanismo di scansione e puntamento di M1 é controllato da una scheda dedicata posta nella VCE. La VCE é connessa alla linea di potenza ed al bus di VIMS per lo scambio di comandi e dati (scientifici e di telemetria) con l'elettronica principale (Main Electronics ME). Al suo interno sono alloggiare 4 schede (PCB) per il controllo dello scanning mirror, il filtro del power supply, l'acquisizione ed il timing dei processi, la CPU e la memoria dell'elettronica di interfaccia. La scheda di acquisizione e di timing dei processi é particolarmente importante poiché contiene i circuiti di processamento del segnale e quattro FPGA che generano il segnale di sincronizzazione e

lettura della CCD. Le quattro FPGA sono in grado di gestire il binning dei pixel, la posizione dello specchio di scan M1, della regione di piano focale acquisita e del tempo di acquisizione.

1.5.2 Signal Processing Electronics (SPE)

Il task dell'elettronica di signal-processing é quello di provvedere alla sincronizzazione delle acquisizioni dei canali VIS ed IR, alla gestione degli offset e guadagni elettronici ed alla digitalizzazione del segnale a 12 bit.

1.5.3 Main Electronics (ME)

La Main Electronics (ME) soprasiede alla gestione delle due teste ottiche VIS ed IR (Figura 1.15) e fornisce il collegamento con il satellite. Al suo interno si trovano la CPU (80C86 a 6 MHz) che controlla le principali funzioni dello strumento mediante 3 bus separati; un bus locale permette alla CPU di accedere alla RAM di 64 Kbyte ed alla PROM di 96 KByte in cui é registrato il software di volo; un secondo bus collega la CPU ai compressori dati ed infine un terzo bus globale a 16 bit fornisce l'accesso alla SPE ed alla BIU (Bus Interface Unit), l'unit  M1553 che garantisce il collegamento con il bus satellite.

Il software di volo é stato sviluppato in C ed in assembler e risiede nella PROM; ad ogni accensione dello strumento il software viene caricato dal sistema. Durante lo svolgimento della missione il software é stato aggiornato diverse volte mediante patches per migliorarne il funzionamento.

Un'altro compito importante svolto dalla ME é la gestione e la compressione dei dati scientifici. I dati digitalizzati dalla SPE in ordine spettrale vengono ruotati dalla ME in ordine spaziale ed inviati al compressore. I dati scientifici vengono compressi in maniera reversibile mediante un encoder di entropia (Rice et al., 1991) da due compressori dati dedicati di costruzione francese che operano come co-processor della CPU. I compressori usano chip RISC ADSP 2100 a 6 MHz basati su architettura Harvard ed operano indipendentemente su blocchi di 32 spettri: questo tipo di funzionamento permette una migliore gestione degli errori durante l'accesso alla memoria ed il trasferimento a terra dei dati. Prima della compressione la ME provvede alla sottrazione della dark current dai dati ed all'ottimizzazione del livello di guadagno per ridurre il rumore fotonico. Il processo di compressione avviene nell'intervallo di acquisizione tra due frame successivi da parte dei canali VIS ed IR: tipicamente sono necessari 1.76 msec per comprimere uno spettro completo. L'algoritmo usato, completamente reversibile ed error-free, permette una compressione dei dati variabile tra un fattore 2 e 3 a seconda del livello di entropia dell'acquisizione.

Il mantenimento temporaneo dei dati avviene su due buffer FIFO (First In-First Out) di input ed output con pagine di 2 Mb ridondati e protetti in latch-up. Ogni pagina é composta da 4x8 blocchi di memoria per un totale di 32 settori. Ogni settore é composto da 2 32Kx8 chip connessi in parallelo per ottenere una struttura a 16 bit. Ogni settore ha dei controlli veloci di switch-off individuali per limitare le sovracorrenti. Dopo la compressione i dati vengono

salvati in pacchetti formattati secondo gli standard del bus di interfaccia BIU di Cassini, inviati alla memoria principale del satellite e da qui trasmessi a Terra.

Infine nella ME si trova un controller di funzioni di supporto (SFC) utilizzato per il clock ed il timing dei processi. Questo elemento provvede a coordinare le operazioni degli strumenti, ad esempio la movimentazione degli specchi di scansione, ed i ritardi necessari per sincronizzare le acquisizioni del canale VIS ed IR che usualmente operano con tempi di esposizione diversi.

Tutte le linee dedicate al controllo della temperatura e della potenza vengono gestite dal CDS (Cassini Data System) indipendentemente dallo stato di accensione della ME: questa architettura permette di intervenire sui controlli termici e di potenza anche quando VIMS é inattivo.

1.6 Modalità operative

In questa sezione sono descritte le diverse modalità operative implementate nel software di volo di VIMS-V:

- SCIENCE: acquisizione iperspettrale (con o senza scansione di M1);
- SOLAR PORT: acquisizione dello spettro solare attraverso la porta solare;
- INTERNAL CALIBRATION: acquisizione del segnale dei led di riferimento per verifica della calibrazione spettrale;
- BACKGROUND: acquisizione del background interno;

Ad ogni accensione VIMS-V entra in modalità SCIENCE caricando dal software di volo alcuni parametri di funzionamento di default. I parametri che definiscono il funzionamento dello strumento sono i seguenti:

- Summing Parameter (GSS, Group Selecting Status);
- Swath Width;
- Swath Offset;
- Swath Length;
- Mirror Offset;
- Mirror Motion;
- Spectral Offset;
- Exposure Time;
- Exposure Time Delay;
- Gain;

- Antiblooming.

La descrizione di questi parametri segue nei prossimi paragrafi; in Figura 1.16 sono raffigurati i parametri Swath Width, Swath Offset, Swath Length e Mirror Offset in funzione della regione attiva sulla CCD e delle posizioni dello specchio di scan M1.

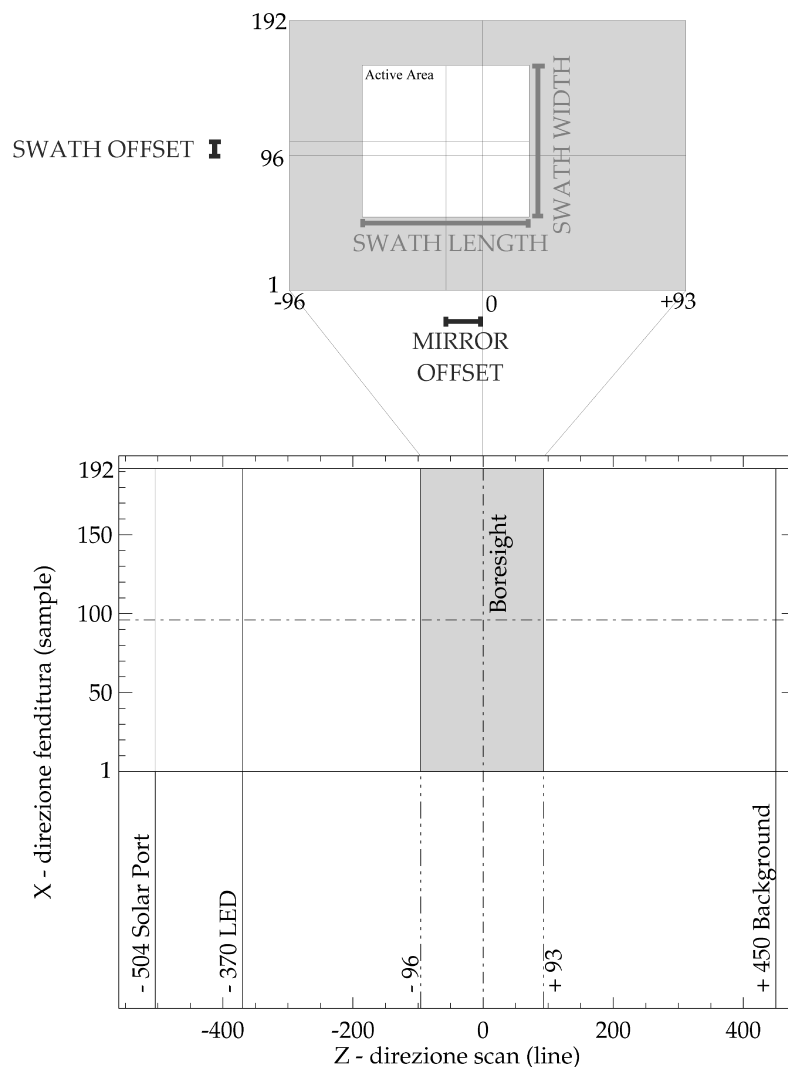


Figura 1.16: Raffigurazione grafica dei parametri Swath Width, Swath Offset, Swath Length e Mirror Offset di VIMS-V in funzione delle posizioni lungo gli assi X e Z. La posizione del boresight corrisponde allo zero degli assi X e Z; le posizioni di M1 poste in corrispondenza dei boresight della porta solare e dell'unità di calibrazione interna (LED) sono rispettivamente a -504 ed a -370 lungo Z. Il background viene acquisito in corrispondenza della posizione +450.

Summing Parameter VIMS-V può acquisire immagini iperspettrali utilizzando 5 modalità operative (GSS, Group Selection Status) preimpostate nell'elettronica di comando ed

elencate in Tabella 1.5.

Modi operativi di VIMS-V						
GSS	Modalità	Binning		Risoluzione		Frame max (sample \times band)
		spaziale	spettrale	spaziale	spettrale	
0	Alta Spaziale-Alta spettrale	1	– 2	167 μ rad	–2.92 nm	51 \times 240
1	Nominale	3	– 5	500 μ rad	–7.30 nm	84 \times 96
2	Bassa Spaziale-Alta Spettrale	3	– 2	500 μ rad	–2.92 nm	51 \times 240
3	Alta Spaziale-Bassa Spettrale	1	– 5	167 μ rad	–7.30 nm	128 \times 96
4	Super Alta	1	– 1	167 μ rad	–1.46 nm	25 \times 480

Tabella 1.5: *Modi operativi (GSS, Group Selecting Status) dello strumento VIMS-V; vengono riportate le dimensioni massime del frame ed il risultante data volume per ogni modo.*

Utilizzando i comandi di binning della CCD é possibile variare le risoluzioni spaziali e spettrali dello strumento; l'aquisizione del singolo pixel fisico del piano focale corrisponde alla modalità superhigh (risoluzione spaziale 166 μ rad e spettrale di 1.46 nm/spectel); la modalità nominale si ottiene con un binning x3 lungo la direzione spaziale (500 μ rad) e x5 lungo quella spettrale (7.3 nm/spectel).

La risoluzione spaziale (IFOV) di VIMS-V si ottiene dal rapporto tra la dimensione del lato del pixel ($l_{pixel}=24 \mu\text{m}$ in alta risoluzione; $l_{pixel}=72 \mu\text{m}$ in modalità nominale) e la focale del telescopio ($F=143.2 \text{ mm}$). L'angolo solido sotteso dal pixel fisico é pari a $(166 \mu\text{rad})^2 = 2.79 \cdot 10^{-8}$ sterad.

Swath Width definisce il FOV lungo l'asse X (parallelo alla fenditura, sample) mediante il numero di pixels adiacenti. Può assumere i valori indicati nella seguente Tabella 1.6 per le diverse modalità operative.

GSS	Swath Width (pixel)
0	1 \div 51
1	1 \div 84
2	1 \div 51
3	1 \div 128
4	1 \div 25

Tabella 1.6: *Valori del parametro Swath Width nelle diverse modalità GSS di VIMS-V.*

Swath Offset corrisponde al numero di pixel di cui il FOV é decentrato rispetto al bore-sight lungo l'asse X (parallelo alla fenditura, sample). Lo Swath Offset può assumere valori compresi nel range ± 85 .

Swath Length definisce il numero di step dello specchio di scansione M1 lungo l'asse Z (perpendicolare alla fenditura, line) necessari all'acquisizione di un cubo iperspettrale. Assume valori compresi tra 1 e 192. Ad esempio in modalità nominale (GSS=1), si hanno 192 step di M1 per acquisire 64 lines (binning spaziale x3).

Mirror Offset definisce la posizione di inizio della scansione lungo l'asse Z (perpendicolare alla fenditura, line) per lo specchio M1. A boresight il Mirror Offset é 0 ed il possibile range di valori é compreso tra -96 e +93 lines, corrispondenti rispettivamente ad angoli di $-16032 \mu\text{rad}$ e $+15531 \mu\text{rad}$. Poiché M1 si muove a step di $167 \mu\text{rad}$ lungo l'asse Z, si possono avere al massimo 189 step corrispondenti ad un FOV di $189 \cdot 167 = 31563 \mu\text{rad} = 1.8^\circ$. In Tabella C.3 sono riportati i valori dei parametri elettrici del motore di scansione di VIMS-V (seno e coseno dell'angolo elettrico e corrente assorbita) lungo l'asse delle line e del mirror offset. Nel modo SOLAR PORT lo specchio di scan M1 viene comandato in corrispondenza del boresight della porta solare, corrispondente a Mirror Offset = -504. In questa configurazione é possibile acquisire lo spettro solare secondo quanto descritto nella sezione 1.2.4.

Il modo INTERNAL CALIBRATION comanda M1 in posizione Mirror Offset = -370 in modo tale da allineare l'asse ottico con il boresight dei led di calibrazione spettrale. In questa configurazione é possibile acquisire il segnale dei due LED spettrali secondo quanto descritto nella sezione 1.2.4.

In BACKGROUND M1 punta l'interno del paraluce del telescopio in modo da permettere l'acquisizione del background interno. In questa configurazione Mirror Offset = +450. I frame di background, acquisiti con lo stesso tempo di esposizione delle acquisizioni scientifiche sono utilizzati per rimuovere la dark current, i readout e gli offset dell'elettronica di lettura.

Le posizioni dello specchio di scansione corrispondenti ai modi SOLAR PORT, INTERNAL CALIBRATION e BACKGROUND sono indicate in Figura 1.16.

Mirror Motion determina la direzione di scansione lungo l'asse Z nei diversi modi operativi secondo lo schema riportato in Tabella 1.7.

Mirror Motion	GSS	Direzione asse Z
0	0, 3, 4	positiva
1	1, 2	positiva
2	0, 3, 4	negativa
3	1, 2	negativa

Tabella 1.7: *Relazione tra il parametro Mirror Motion e la direzione di scansione nei possibili modi GSS di VIMS-V.*

Spectral Offset definisce il range spettrale acquisito da VIMS-V durante l'acquisizione. I valori della calibrazione spettrale dipendono quindi dal valore selezionato secondo la Tabella 1.8.

Spectral Offset	Range spettrale
0	350 ÷ 1050 nm
1	300 ÷ 1000 nm

Tabella 1.8: *Relazione tra il parametro Spectral Offset ed il range spettrale di VIMS-V.*

Exposure Time corrisponde al tempo che intercorre tra un reset della CCD ed il trasferimento dell'immagine in memoria. Assume valori compresi tra 50 msec e 131 sec. A causa del tempo necessario a M1 per completare la scansione su un pixel risulta che in GSS=(0, 3, 4) l'exposure time corrisponde all'effettivo tempo di integrazione della CCD mentre in GSS=(1, 2) l'exposure time corrisponde a 3 volte il tempo di integrazione effettivo.

Exposure Time Delay determina il ritardo con cui VIMS-IR inizia l'acquisizione rispetto a VIMS-V. Questo ritardo si rende necessario per sincronizzare le acquisizioni del canale IR con il VIS: quest'ultimo infatti richiede in generale un exposure time maggiore del canale IR. L'Exposure Time Delay può assumere valori compresi nel range $0 \div 131$ sec.

Gain definisce il livello di guadagno del circuito di digitalizzazione; può variare secondo i valori riportati in Tabella 1.9.

Gain	Offset (DN)
0	48
1	285

Tabella 1.9: Relazione tra il parametro Gain e l'offset elettronico di VIMS-V.

Antiblooming definisce il modo in cui la CCD opera in condizioni di saturazione secondo la seguente Tabella 1.10.

Antiblooming	Driving mode
0	partial inverted
1	full inverted

Tabella 1.10: Relazione tra il parametro Antiblooming e la gestione del livello di saturazione della CCD di VIMS-V.

1.7 Il cubo iperspettrale di VIMS

I fotoelettroni generati dalla CCD vengono inviati ad un convertitore A/D a 12 bit (0-4095 livelli) e distribuiti, una volta a terra, come un cubo iperspettrale in formato PDS (Planetary Data System, vedi appendice A.1) che contiene l'acquisizione dei canali VIS ed IR. Essendo il cubo una struttura di dati a tre indici si utilizzano nell'ordine i parametri *samples* (*s*), *bands* (*b*), *lines* (*l*) per indicare rispettivamente l'asse spaziale lungo la fenditura, l'asse di dispersione spettrale e l'asse di scansione spaziale (acquisizioni nel tempo). Istantaneamente la CCD acquisisce un frame, ovvero lungo le righe é contenuta l'informazione spaziale (sample), e lungo le colonne quella spettrale (bands). I cubi di VIMS, allocati nell'ordine (s, b, l) sono in formato BIL (Band Interleaved by Lines). Nel piano sample-line sono contenute le immagini a diverse lunghezze d'onda mentre il piano bands-line contiene le slice (Figura 1.17). Le massime dimensioni di un cubo acquisito da VIMS-V sono (s, b, l)=(64, 96, 64)

corrispondente ad un FOV di $1.8^\circ \times 1.8^\circ$. Considerando che il canale IR utilizza 256 bands, complessivamente i cubi di VIMS possiedono 352 band (bands = $1 \div 96$ canale VIS, bands = $97 \div 352$ canale IR.)

1.8 La missione Cassini e gli obiettivi scientifici di VIMS

1.8.1 Il satellite Cassini

Nella storia dell'esplorazione del sistema solare la missione Cassini-Huygens (NASA, ESA, JPL, ASI) sta ottenendo una serie indiscussa di primati tecnologici e scientifici. Cassini é costituita da un orbiter di Saturno e da un probe per lo studio dell'atmosfera e della superficie di Titano (Huygens). Il satellite, stabilizzato sui tre assi, possiede un payload scientifico composto da 18 esperimenti (12 su Cassini e 6 su Huygens), un'antenna ad alto guadagno, due antenne a basso guadagno, trasmettitori e ricevitori in bande Ka e X, tre generatori di potenza a radioisotopi (RTG, ≈ 700 W), due motori principali, thruster e reaction wheels per il controllo di assetto (Figura 1.18).

Il satellite ha un altezza di 6.8 m, un diametro di 4.0 m (apertura dell'antenna ad alto guadagno), ed un peso complessivo al lancio di 5573.8 kg.

La missione Cassini é stata lanciata il 15 ottobre 1997 con un vettore Titan IV - Centaurus. Dopo un viaggio durato circa 7 anni su traiettoria VVEJGA (Venus-Venus-Earth-Jupiter Gravity Assist) il satellite é entrato in orbita attorno Saturno il 1 luglio 2004. Il probe Huygens ha raggiunto con successo la superficie di Titano il 14 gennaio 2005. La missione nominale (2004-2008) del satellite prevede un tour di 74 orbite attorno a Saturno con 45 close-encounters di Titano. Queste orbite sono state ottimizzate per il massimo ritorno scientifico e conservazione delle risorse e delle operazioni a bordo. Durante il tour si avranno inoltre 8 fly-by dedicati e decine di passaggi ravvicinati con i satelliti ghiacciati di Saturno. Verso la fine della missione nominale il satellite verrà spostato su orbite inclinate rispetto al piano equatoriale (fino a 85°) per garantire un migliore punto di osservazione delle regioni polari di Saturno e degli anelli.

1.8.2 Obiettivi scientifici di VIMS

Gli obiettivi scientifici di VIMS-V sono la mappatura della distribuzione spaziale dei minerali e delle specie chimiche dei seguenti target:

- Anelli di Saturno: composizione, struttura, evoluzione temporale;
- Superficie dei satelliti di Saturno: composizione delle superfici ghiacciate (acqua, CO_2) e scure (presenza di materiali organici ed idrocarburi policiclici aromatici); presenza di materiali volatili (CO_2 , C_2H_6)
- Saturno: dinamica temporale e morfologia delle strutture atmosferiche;

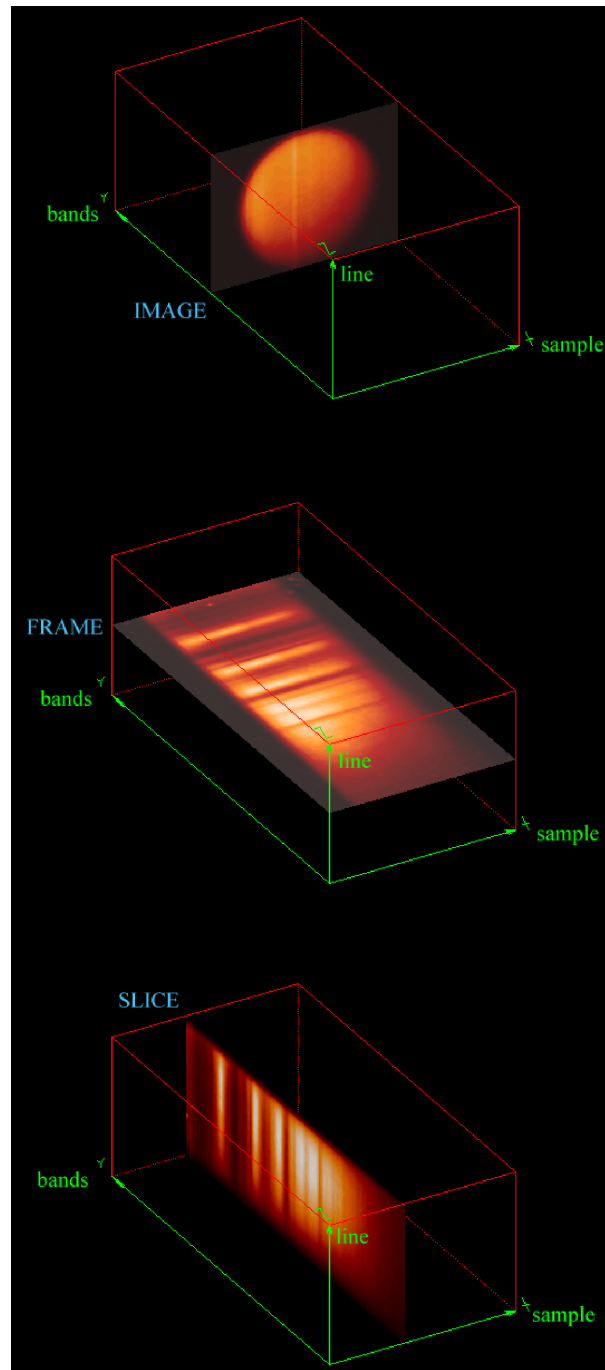


Figura 1.17: *Struttura dei dati di VIMS: il cubo iperspettrale. Definizione dei piani IMAGE(sample, line), FRAME(sample, bands) e SLICE(bands, line). Acquisizione full-disk di Titano.*

- Titano: dinamica temporale e morfologia delle strutture atmosferiche; determinazione della natura degli aerosols (toline) e dello strato di nebbie esterne; studio della superficie

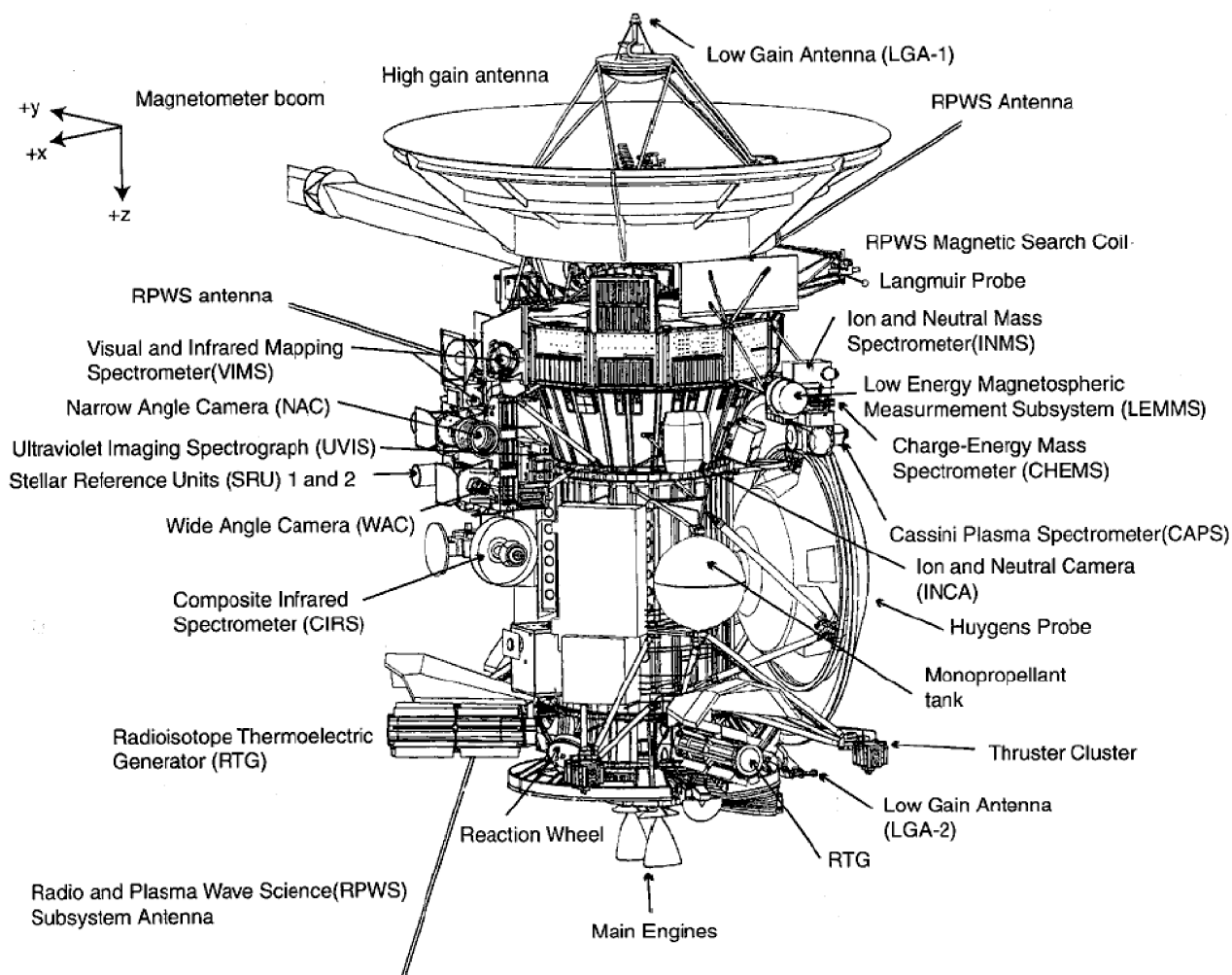


Figura 1.18: Il satellite Cassini: payload scientifico e componenti di servizio. Tratto da *Cassini Mission Plan, Revision O, 10/2003*.

utilizzando le finestre atmosferiche nel range VIS ed IR.

1.8.3 Piattaforma di remote sensing ed allineamenti

Gli strumenti di Remote Sensing della Cassini (ISS, UVIS, VIMS, CIRS) sono coallineati su una piattaforma di remote sensing dedicata (Figura 1.19). Per poter comprendere l'allineamento di VIMS rispetto al satellite occorre definirne gli assi principali:

- Asse +X: diretto lungo l'asse di puntamento dei sensori stellari (SRU, Stellar Reference Unit);
- Asse -X: diretto lungo la posizione di ancoraggio del probe Huygens;

- Asse +Y: diretto lungo il braccio del Magnetometro (MAG);
- Asse -Y: diretto lungo l'asse ottico di puntamento degli strumenti di remote sensing;
- Asse +Z: diretto lungo l'asse dei motori principali. L'asse +Z corrisponde alla direzione di espulsione dei gas di scarico dei motori;
- Asse -Z: diretto lungo l'asse dell'antenna principale. L'asse -Z corrisponde alla direzione di spinta dei motori principali.

In questo riferimento si definisce il roll attorno all'asse +Z, il pitch attorno all'asse +Y ed il yaw attorno all'asse +X.

Considerando la collocazione di VIMS-V sulla piattaforma di remote sensing, risulta che lo spettrometro é così allineato rispetto al riferimento del satellite:

- Asse +X: allineato parallelamente alla fenditura di VIMS (dimensione sample nel cubo iperspettrale)
- Asse +Y: allineato parallelamente all'asse ottico (boresight); il satellite deve puntare questo asse verso il target da osservare;
- Asse +Z: allineato perpendicolarmente all'asse della fenditura, ovvero parallelamente alla direzione di scan di M1 (dimensione line nel cubo iperspettrale).

In Figura 1.20 sono riportate le proiezioni dei campi di vista degli strumenti di remote sensing (ISS, UVIS, VIMS, CIRS) con i rispettivi offset di co-allineamento.

Per una descrizione esaustiva della missione si rimanda al Cassini Mission Plan (AA. VV., 2003).

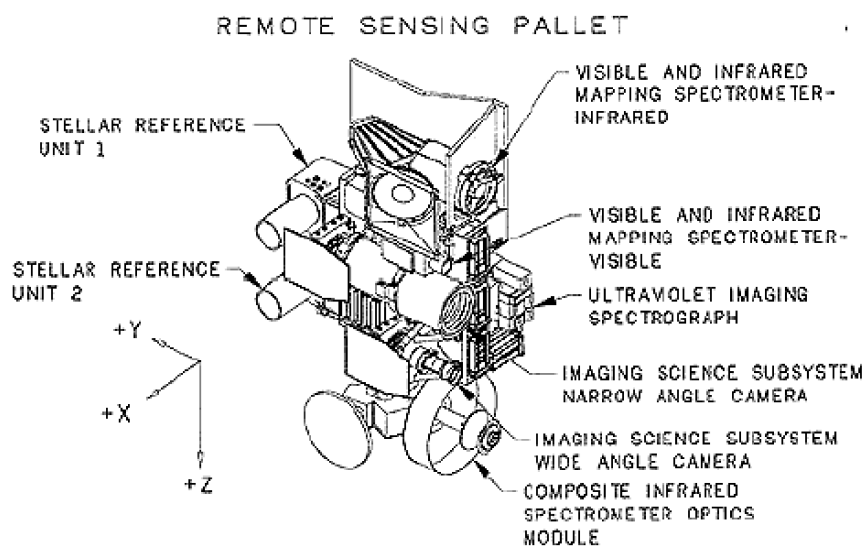


Figura 1.19: La piattaforma di remote sensing su Cassini: ISS-WAC e NAC (Imaging Sub-System Wide Angle Camera, Narrow Angle Camera), UVIS (UltraViolet Imaging Spectrometer), VIMS (Visual and Infrared Mapping Spectrometer), CIRS (Composite InfraRed Spectrometer) ed i sensori stellari SRU (Stellar Reference Unit). Tratto da Cassini Mission Plan, Revision O, 10/2003.

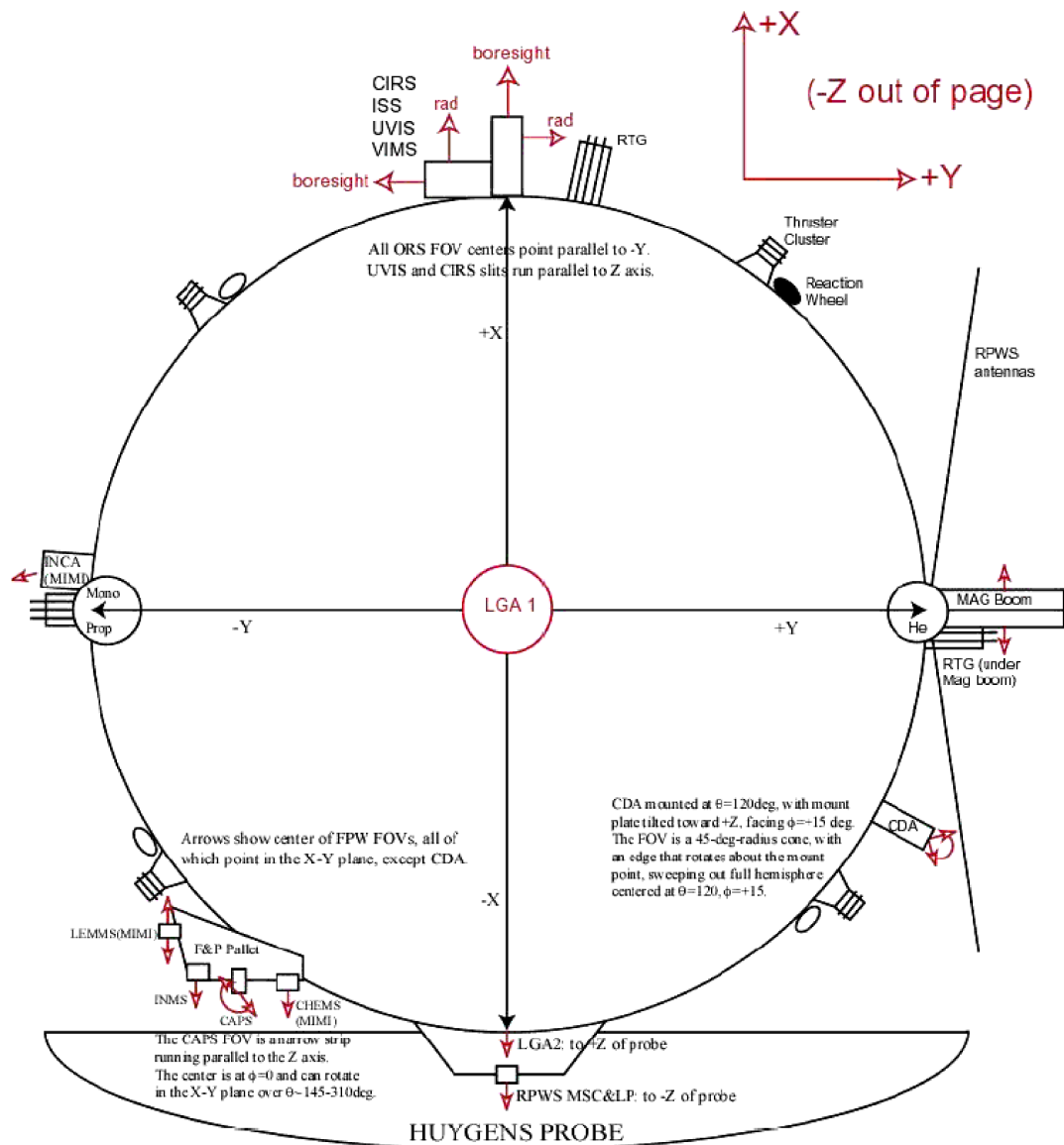


Figura 1.20: Orientazione dei FOV del payload scientifico rispetto al riferimento del satellite Cassini. Tratto da Cassini Mission Plan, Revision O, 10/2003.

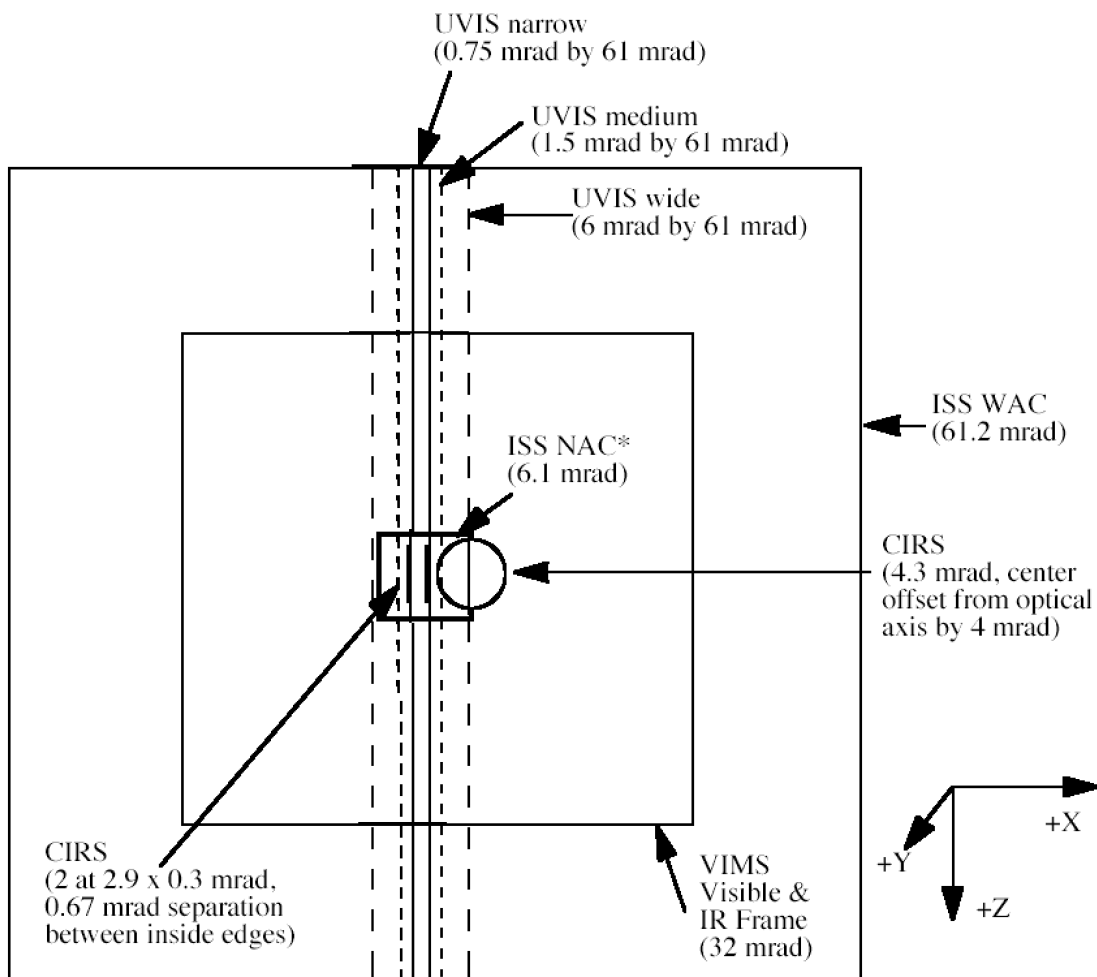


Figura 1.21: Proiezione dei FOV e coallineamento degli strumenti di remote sensing del satellite Cassini lungo l'asse -Y. Tratto da Cassini Mission Plan, Revision O, 10/2003.

VIMS-V: calibrazioni in volo

Data calibration is often an Art, but also a thankless Task.
When well done it is seamless to the person using the data;
when inaccurate it plagues the rational user,
sometimes in invisible and insidiously misleading ways.
Most often, accurate calibration is never fully achieved
but is approached asymptotically through hard work and experience.
Though the data are of high quality,
accurate calibration commensurate with the data potential
has been fraught with difficulties and challenges...

C. M. Pieters

2.1 Introduzione

In questo capitolo vengono descritte le principali attività svolte durante il dottorato dedicate alla calibrazione dei dati in volo di Cassini-VIMS-V.

L'analisi scientifica dei dati prodotti da uno spettrometro ad immagine richiede innanzitutto la corretta rimozione di tutti i possibili contributi strumentali nel segnale generato. Questa attività riveste una fondamentale importanza nella riuscita di un'esperimento in quanto da essa e dalla corretta strategia osservativa dipendono la qualità dei dati scientifici prodotti. D'altra parte per poter eseguire una buona calibrazione è richiesta sia una conoscenza tecnica approfondita del modo di funzionamento dello strumento, ampiamente discussa nel precedente capitolo, sia dei processi fisici che generano il segnale osservato e che saranno di seguito descritti. L'accuratezza della calibrazione deve essere frequentemente verificata durante l'intera vita operativa dello strumento in modo tale da considerare l'usura e l'invecchiamento dei componenti, l'influenza degli stress termomeccanici ed i possibili malfunzionamenti interni.

Il processo di calibrazione di uno spettrometro ad immagine operante nel range VIS inizia con la misura e la verifica durante i test pre-volo dei principali parametri strumentali (risposta spettrale, spaziale, geometrica, radiometrica) che intervengono nella formulazione del segnale; queste grandezze sono impiegate nella prima versione del software di processamento dei dati in volo. L'analisi dei risultati ottenuti fornisce un'indicazione stringente sulla qualità delle misure eseguite e permette di valutare se i parametri impiegati sono soddisfacenti o se necessitano ulteriori miglioramenti mediante osservazioni specifiche di oggetti durante lo svolgimento della missione.

Nel caso specifico di VIMS-V é risultato che solo la misura della calibrazione spettrale (sezione 2.2.1), effettuata nel 1996 durante i test pre-volo, é stata sufficientemente precisa da poter essere applicata nel processamento dei dati in volo. La determinazione delle risposte spaziali (flat-field), geometriche (tilt spettrale) e radiometriche (responsività) dello strumento é stata possibile soltanto mediante osservazioni di specifici oggetti del sistema solare. Questa strategia é stata possibile grazie alla lunga fase di cruise del satellite (7 anni) durante la quale sono stati osservati diversi oggetti utili a caratterizzare lo strumento.

In particolare sono state utilizzate osservazioni della superficie della Luna per la misura della responsività (sezione 2.3.1) e dell'atmosfera di Venere per ricavare il flat-field (sezione 2.3.2). Effetti strumentali secondari, come il tilt spettrale (sezione 2.5.1) e la rimozione degli offset di readout elettronici (sezione 2.5.2) hanno richiesto lo sviluppo di algoritmi di correzione dedicati.

Le procedure di seguito riportate sono attualmente utilizzate dal team scientifico di VIMS (presso il Lunar and Planetary Laboratory, University of Arizona, Tucson, AZ, USA) per la calibrazione dei dati del canale VIMS-V rilasciati alla comunità internazionale.

2.2 Stabilità strumentale in volo

2.2.1 Calibrazione spettrale

Durante la fase di integrazione e di calibrazione pre-lancio presso la Galileo Avionica (Fi) sono state misurate le prestazioni spettrali di VIMS-V (Capaccioni et al., 1998). Mediante i parametri determinati con questa calibrazione é possibile associare al singolo canale spettrale (band, b) la corrispondente lunghezza d'onda (λ) e la larghezza di banda $\Delta\lambda(b)$. La relazione ottenuta tra bands e λ é lineare grazie all'equazione del grating (1.5). I parametri ottenuti sono di seguito riportati:

$$\lambda(b) = \lambda_0 + \Delta\lambda \cdot b \quad (2.1)$$

$$\lambda_0 = 350,54 \text{ nm} \quad (2.2)$$

$$\Delta\lambda = 7,31 \text{ nm} \quad (2.3)$$

In Tabella C.4 sono tabulate le grandezze spettrali di ciascuna banda. Questa tabella é valida in modalità spettrale nominale e per spectral offset 1.

2.2.2 Stabilità della calibrazione spettrale interna

Come discusso in sezione 1.2.4, la risposta spettrale di VIMS-V può essere verificata mediante l'acquisizione del segnale di riferimento dei due LED posti nell'unità di calibrazione interna. Queste sorgenti sono piccate alle seguenti lunghezze d'onda:

$$LED \text{ verde } b = 29 \quad \lambda = 563nm \quad (2.4)$$

$$LED \text{ rosso } b = 39 \quad \lambda = 637nm \quad (2.5)$$

La verifica della stabilità della risposta spettrale é stata fatta su diverse misure acquisite durante la fase di cruise (C14, C15, C22, C27). In Figura 2.1 sono riportate le medie dei segnali su tutta l'estensione spaziale della fenditura; i picchi di massima emissione dei due LED verde e rosso sono visibili alle band 29 e 39 con segnali rispettivamente di circa 25 e 180 DN. La loro posizione spettrale ed intensità é consistente con le misure pre-volo e questo assicura che lo strumento non possa aver cambiato la propria risposta spettrale per più di $b/2$ (3.65 nm).

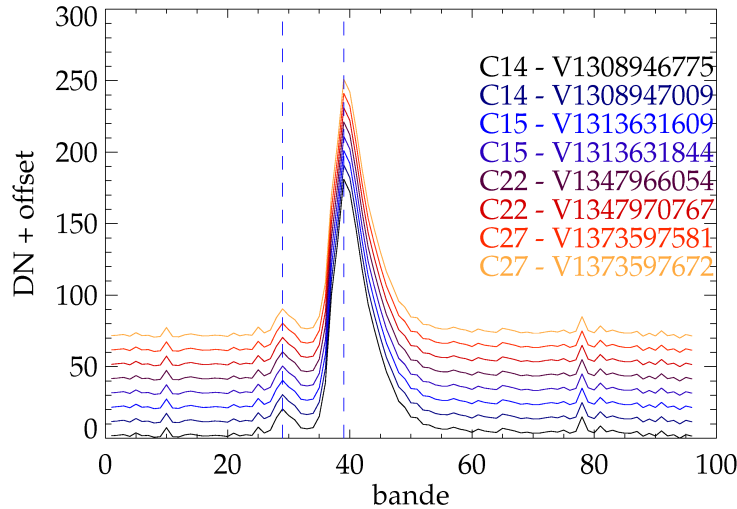


Figura 2.1: Segnale dell'unità di calibrazione interna di VIMS-V durante la fase di cruise (sessioni C14, C15, C22, C27). Il segnale dei due LED verde e rosso sono in corrispondenza delle due linee verticali poste rispettivamente alle band 29 (563 nm) e 39 (637 nm). Si noti l'estrema ripetibilità del segnale nel tempo, indicazione del fatto che la risposta spettrale dello strumento non é mutata.

2.3 Calibrazione in volo di VIMS-V

Questa sezione é dedicata all'esposizione del metodo usato per calibrare i dati in volo acquisiti da VIMS-V durante il volo di trasferimento verso Saturno. La calibrazione degli spettrometri ad immagine é un'attività particolarmente lunga e difficile poiché in genere molti fenomeni

intervengono contemporaneamente nel processo. La rimozione degli effetti strumentali e la conversione dei DN alle unità fisiche di radianza spettrale ($W\ cm^{-2}\ nm^{-1}\ sterad^{-1}$) richiede una conoscenza approfondita delle caratteristiche e del funzionamento dello strumento. Il processo di calibrazione, che inizia a terra durante le fasi di assemblaggio dei componenti ed i test ingegneristici, continua durante l'intera vita dell'esperimento: più misure a terra ed osservazioni in volo vengono compiute e più accurati saranno i dati scientifici prodotti. La calibrazione radiometrica in volo di VIMS-V è stata compiuta in due fasi consecutive. La prima è consistita nella ricerca di un target avente caratteristiche spettroradiometriche stabili nel tempo e note (attraverso osservazioni supportate da modelli fotometrici) su cui fosse possibile calibrare la risposta di un pixel della CCD: in analogia con le metodologie seguite per calibrare altre camere e spettrometri ad immagine in volo in questa fase si è ritenuto conveniente utilizzare una regione lunare osservata da VIMS avente proprietà spettrofotometriche note. La seconda fase del processo di calibrazione ha riguardato l'estensione della calibrazione ai rimanenti pixels della CCD usando una matrice di flat-field: l'osservazione dell'atmosfera di Venere avvenuta durante il flyby della Cassini è stata utilizzata a questo scopo. Questo metodo è stato applicato e discusso in passato (Filacchione, 2001), (Brown et al., 2003), (Coradini et al. 2004), (McCord et al. 2004) ottenendo un errore relativo sulla radianza spettrale dell'ordine del 10%. In questa tesi verrà descritto il metodo seguito per ridurre l'errore relativo a circa il 5% introducendo delle correzioni aggiuntive.

2.3.1 Osservazione della Luna e calcolo della radianza spettrale

La Luna rappresenta uno dei corpi celesti più studiati ed osservati sia da Terra che dallo spazio: grazie a queste osservazioni in remoto ed alle misure spettrofotometriche compiute in laboratorio su campioni lunari riportati dalle missioni Apollo statunitensi e Luna sovietiche è possibile valutare con grande precisione la riflettanza spettrale delle diverse regioni del nostro satellite a diversi angoli di fase. La rimozione degli effetti di illuminazione, dovuti all'angolo di fase solare ed alla geometria di osservazione, è un passaggio fondamentale visto che modificano la riflettanza spettrale della superficie lunare (Hapke, 1993), (Kieffer & Stone, 2005). Dopo un'attenta analisi dei dati lunari disponibili si è deciso di utilizzare il cubo iperspettrale V1313633953 corretto per il background V1313631679; i parametri relativi a queste due acquisizioni sono riportati in Tabella 2.1. L'immagine della Luna, ottenuta con un angolo di fase di 90° da una distanza di circa 380.000 km (risoluzione spaziale di ≈ 190 km/pixel nominale), è centrata sui mari Tranquillitatis e Serenitatis; anche mare Crisium è compreso nell'immagine mentre il sito di allunaggio dell'Apollo 16 (usato come riferimento per le osservazioni compiute da Terra) è prossimo al terminatore e quindi non utilizzabile nel processo di calibrazione a causa del basso rapporto segnale-rumore.

In Figura 2.2 è mostrata la proiezione dell'osservazione V1313633953 della Luna su una mappa di mercatore della superficie: da questa immagine è possibile riconoscere le diverse regioni lunari corrispondenti ai pixel dell'immagine acquisita.

Il punto della superficie lunare su cui calibrare lo strumento è stato scelto in base a considerazioni pratiche (rapporto segnale rumore elevato, disponibilità di dati spettrofotometrici di riferimento) dalle quali è emerso che la regione più adatta fosse Mare Crisium corrispondente al pixel $(s^*, l^*) = (25, 19)$ sul cubo V1313633953: questo punto risulta essere abbastanza

Target	Filename	Start_Time	s	b	l	Exp_Time (msec.)
Luna (osservazione)	V1313633953	1999-230T02:12:25.498	64	352	64	320
Luna (background)	V1313631679	1999-230T01:34:31.751	64	352	6	8000

Tabella 2.1: Parametri delle osservazioni di VIMS-V della Luna.

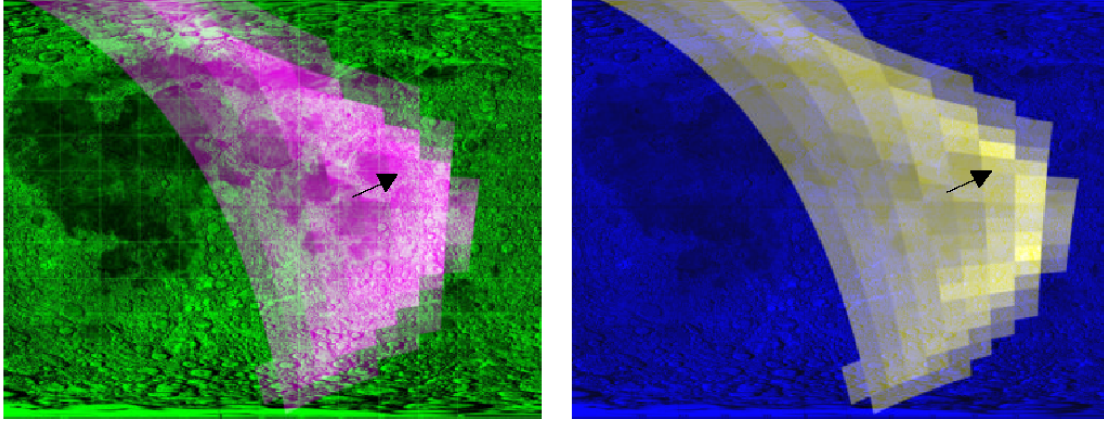


Figura 2.2: Proiezione dell'osservazione V1313633953 di VIMS-V (550 nm) su una mappa di mercatore della Luna. La freccia indica il pixel usato per la calibrazione corrispondente a Mare Crisium.

lontano dal terminatore e comprende al suo interno una regione omogenea del mare e delle regioni montuose (highlands) adiacenti.

Il segnale corretto per il background e per la dark current (ottenuti dal file V1313631679 normalizzato per il tempo di esposizione dell'osservazione) del pixel $(s^*, l^*) = (25, 19)$ é mostrato in Figura 2.3.

Il software di simulazione delle osservazioni di Cassini (CASPER) fornisce per questo punto al momento dell'osservazione i seguenti parametri geometrici:

- Angolo di fase = 90.0°
- Angolo solare = 46.13°
- Angolo di emissione = 51.43°
- $\mu_0 = \cos(46.13^\circ) = 0.69300$
- $\mu = \cos(51.43^\circ) = 0.62347$

La riflettanza di Mare Crisium é stata valutata a partire da misure compiute da Terra negli anni '70; in particolare si é scelto di utilizzare osservazioni in alta risoluzione spaziale (dimensione dello spot 5-20 km) della superficie lunare con un fotometro multibanda (25 canali, range 300-1000 nm) descritte in (Mc Cord et al., 1972a), (Mc Cord et al., 1972b) e proseguite per diversi anni successivi. Queste misure di riflettanza spettrale sono normalizzate ad 1 a 564 nm e sono relative all'area lunare standard di Mare Serenitatis MS2: il loro impiego quindi

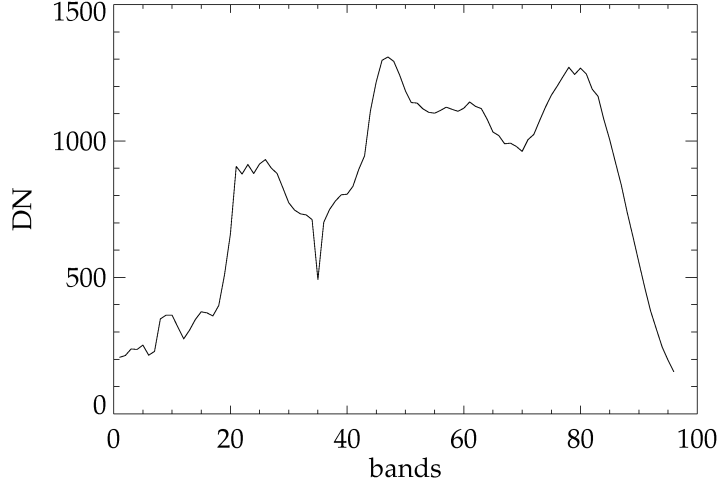


Figura 2.3: Segnale del pixel $(s^*, l^*) = (25, 19)$ del cubo V1313633953 utilizzato per la calibrazione radiometrica di VIMS-V.

nel processo di calibrazione richiede la trasformazione in unità di radianza nelle condizioni osservative di VIMS-V. Sarà inoltre necessario scalare le osservazioni telescopiche terrestri per le misure assolute della riflettanza dei campioni di rocce lunari (soil 62231) corrispondenti al sito di allunaggio dell'Apollo 16 (Pieters, 1999).

La riflettanza lunare ρ_M da associare al pixel corrispondente a Mare Crisium nell'osservazione di VIMS-V è una funzione dell'angolo di fase solare e può essere espressa mediante l'espressione:

$$\begin{aligned} \rho_{Crisium}^{VIMS}(\lambda, i = 46^\circ, e = 51^\circ, \phi = 90^\circ) &= \frac{\rho_{Crisium}^{McCord}(\lambda, \phi = 18^\circ)}{\rho_{Ap16}^{McCord}(\lambda, \phi = 6^\circ)} \cdot \\ &\quad \left(\frac{F(\lambda, \phi = 18^\circ)}{F(\lambda, \phi = 6^\circ)} \right) \cdot \\ &\quad \rho_{Ap16}^{Pieters}(\lambda, i = 30^\circ, e = 0^\circ, \phi = 30^\circ) \cdot \\ &\quad \left(\frac{F(\lambda, \phi = 90^\circ)}{F(\lambda, \phi = 30^\circ)} \right) \cdot K_{Geom} \end{aligned} \quad (2.6)$$

dove:

- $\rho_{Crisium}^{McCord}(\lambda, \phi = 18^\circ)$ è la riflettanza di Mare Crisium misurata da Terra il 10/1/1974 e graficata in Figura 2.4 (Mc Cord et al., 1972b);
- $\rho_{Ap16}^{McCord}(\lambda, \phi = 6^\circ)$ è la riflettanza del sito di allunaggio dell'Apollo 16 misurata da Terra il 4/7/1974 e graficata in Figura 2.4 (Mc Cord et al., 1972b);
- $\rho_{Ap16}^{Pieters}(\lambda, i = 30^\circ, e = 0^\circ, \phi = 30^\circ)$ è la riflettanza misurata in laboratorio dei campioni di roccia prelevati sul sito di allunaggio dell'Apollo 16 e graficata in Figura 2.5 (Pieters, 1999).

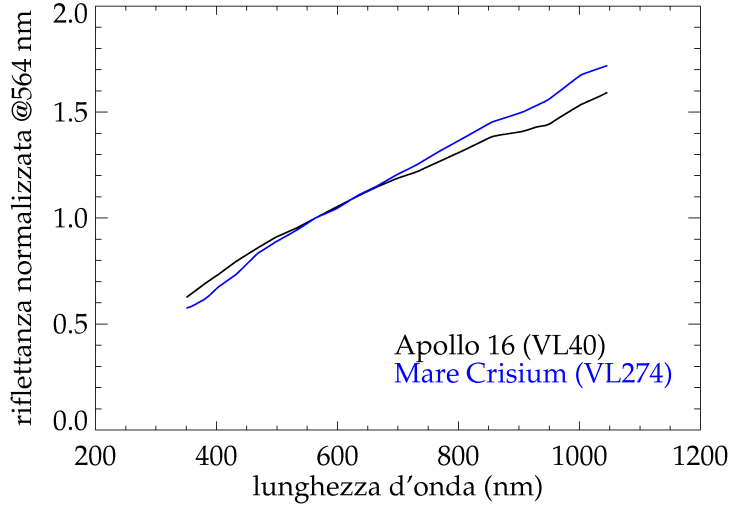


Figura 2.4: Riflettanza spettrale di Mare Crisium $\rho_{Crisium}^{McCord}(\lambda, \phi = 18^\circ)$ e del sito di allunaggio dell'Apollo 16 $\rho_{Ap16}^{McCord}(\lambda, \phi = 6^\circ)$ (Mc Cord et al., 1972b).

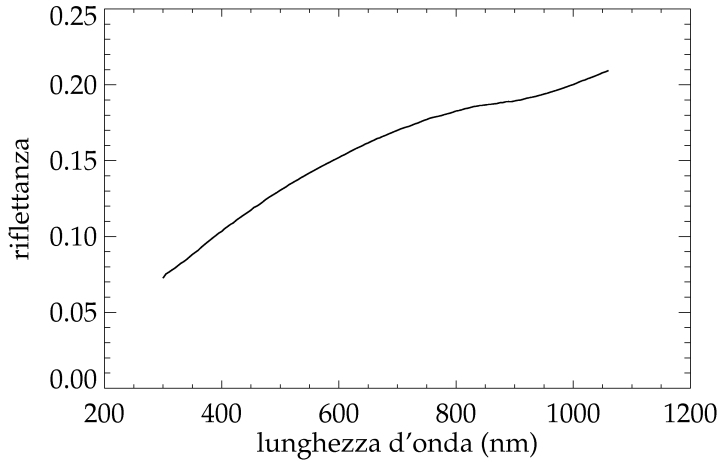


Figura 2.5: Riflettanza spettrale $\rho_{Ap16}^{Pieters}(\lambda, i = 30^\circ, e = 0^\circ, \phi = 30^\circ)$ misurata in laboratorio dei campioni di roccia (soil 62231) prelevati sul sito di allunaggio dell'Apollo 16 (Pieters, 1999).

La variazione riscontrata nella riflettanza spettrale di un punto della superficie lunare per due diversi angoli di fase solare é esprimibile mediante le funzioni di fase fotometriche misurate da (Lane et Irvine, 1973) e tabulate in Tabella C.5 in magnitudini apparenti m_v . Queste curve sono riferite alla variazione media della radianza osservata a diversi angoli di fase integrando il segnale proveniente da tutto l'emisfero lunare visibile.

Le curve di fase spettrali della Tabella C.5 sono state interpolate sia spettralmente (in corrispondenza delle lunghezze d'onda di VIMS-V) che in fase per ricondursi alle condizioni

geometriche delle osservazioni (fasi a 6° , 18° , 30° , 90°). In Figura 2.6 sono graficati gli andamenti spettrali risultanti: in generale la luminosità della Luna diminuisce con l'aumentare dell'angolo di fase mentre l'arrossamento dello spettro rimane una caratteristica comune a tutti gli angoli di fase.

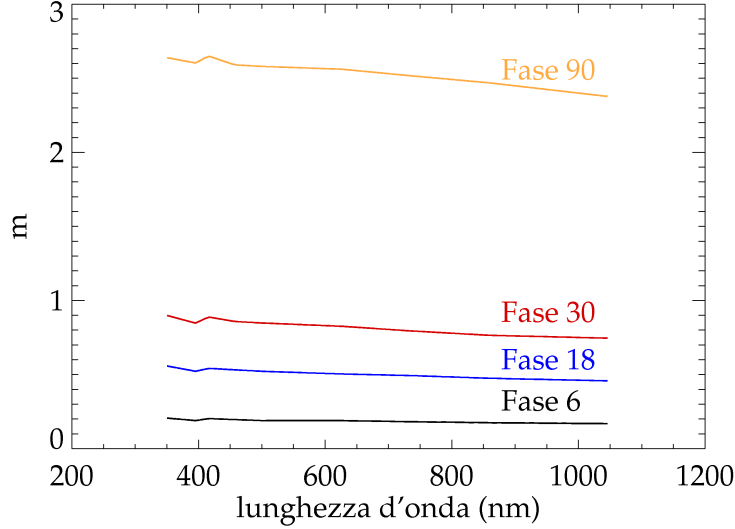


Figura 2.6: Curve di fase spettrali della Luna in m_v per angoli di fase di 6° , 18° , 30° , 90° (Lane et Irvine, 1973).

Invertendo la legge di Pogson si ottengono i rapporti

$$\frac{F(\lambda, \phi = 18^\circ)}{F(\lambda, \phi = 6^\circ)} = 10^{0.4[m(\lambda, \phi = 6^\circ) - m(\lambda, \phi = 18^\circ)]} \quad (2.7)$$

$$\frac{F(\lambda, \phi = 90^\circ)}{F(\lambda, \phi = 30^\circ)} = 10^{0.4[m(\lambda, \phi = 30^\circ) - m(\lambda, \phi = 90^\circ)]} \quad (2.8)$$

che compaiono nell'equazione 2.7; questi termini rappresentano le correzioni fotometriche necessarie per scalare rispettivamente la $\rho_{Crisium}^{McCord}(\lambda, \phi = 18^\circ)$ alla $\rho_{Ap16}^{McCord}(\lambda, \phi = 6^\circ)$ e la $\rho_{Ap16}^{Pieters}(\lambda, i = 30^\circ, e = 0^\circ, \phi = 30^\circ)$ alla $\rho_{Crisium}^{VIMS}(\lambda, i = 46^\circ, e = 51^\circ, \phi = 90^\circ)$.

Infine il termine di correzione geometrica dell'equazione 2.7 è dato da:

$$K_{Geom} = \frac{\left(\frac{\mu_0}{\mu + \mu_0}\right)_{VIMS}}{\left(\frac{\mu_0}{\mu + \mu_0}\right)_{Pieters}} = \left(\frac{\cos(46^\circ)}{\cos(46^\circ) + \cos(51^\circ)}\right) \cdot \left(\frac{\cos(30^\circ) + \cos(0^\circ)}{\cos(30^\circ)}\right) = 1.13 \quad (2.9)$$

ed è necessario per tenere in conto le condizioni di osservazione del punto sulla superficie attraverso gli angoli di illuminazione e di osservazione.

Inserendo i termini fotometrici e geometrico precedentemente descritti nell'equazione 2.7 si ottiene la riflettanza spettrale di Mare Crisium nelle condizioni di illuminazione avute da

VIMS-V durante l'osservazione considerata. In Figura 2.7 é riportato lo spettro associato. Dato l'elevato angolo di fase (90°) la riflettanza spettrale é particolarmente arrossata e di scarsa intensità ($\approx 4\%$ a 1000 nm); attorno a 900 nm é visibile la (debole) banda di assorbimento dei pirosseni, minerali diffusi sui mari lunari.

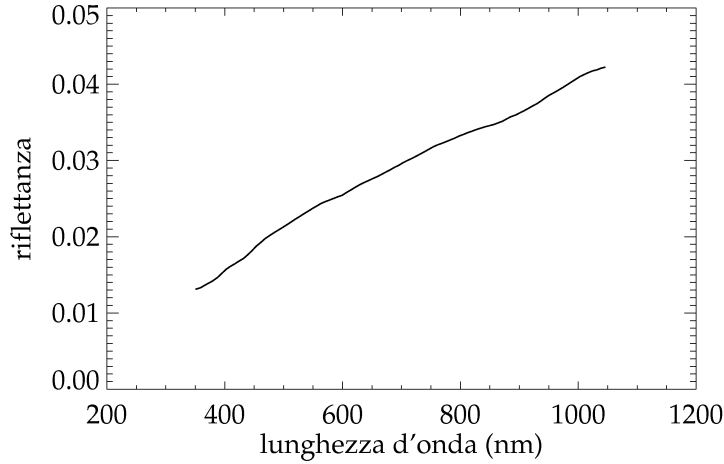


Figura 2.7: Riflettanza spettrale di Mare Crisium $\rho_{Crisium}^{VIMS}(\lambda, i = 46^\circ, e = 51^\circ, \phi = 90^\circ)$ nelle condizioni osservative di VIMS-V.

2.3.2 Flat-Field

La rimozione delle disomogeneità intrinseche del piano focale e della risposta dell'ottica (telescopio, fenditura, reticolo) é possibile mediante l'applicazione di una matrice di flat-field. Questa tecnica viene in genere utilizzata per rendere omogenee le immagini monocromatiche acquisite da uno spettrometro ad immagine e riveste un ruolo fondamentale soprattutto nel caso di oggetti aventi bassa riflettanza e nel caso in cui si vogliano realizzare mosaici mediante acquisizioni adiacenti. Poiché il flat-field realizzato durante le calibrazioni a terra si é dimostrato inadeguato per correggere i dati in volo si é reso necessario ripeterne la determinazione utilizzando quest'ultimi. Tra tutti i dati in volo acquisiti da VIMS-V é risultato che le osservazioni dell'atmosfera di Venere (vedi Tabella 2.2) fossero le più adatte allo scopo.

Il flat-field é stato stimato grazie ai dati iperspettrali dell'atmosfera di Venere acquistiti durante il fly-by della Cassini attorno al pianeta (24-6-1999, distanza minima 598 km). Il pianeta é stato osservato dal solo canale -VIS (il canale -IR era stato spento a causa dell'elevata temperatura raggiunta dal radiatore) da una distanza di circa 34.000 km (risoluzione spaziale di $\approx 17\text{ km/pixel}$ nominale) e con un angolo di fase di 57.6° .

Target	Filename	Start_Time	s	b	l	Exp_Time (msec.)
Venere (osservazione)	V1308947365	1999-175T20:23:08:384	64	352	12	50
Venere (background)	V1308946845	1999-175T20:14:28:512	64	352	64	8000

Tabella 2.2: Parametri delle osservazioni di VIMS-V di Venere.

In Figura 2.8 (alto) é riportata l'immagine RGB dell'atmosfera di Venere del cubo iperspettrale V1308947365. In queste condizioni osservative l'atmosfera di Venere é estremamente brillante e quasi del tutto priva di strutture spaziali alle lunghezze d'onda visibili. Poiché il passaggio della Cassini é avvenuto dall'emisfero notturno a quello diurno alcuni gradienti sono presenti sull'immagine lungo la direzione orizzontale, in particolare un eccesso di segnale alle lunghezze d'onda del rosso verso il lato sinistro ed un aumento nel blu e nel verde sul lato destro. Le strisce verticali, a certe posizioni lungo la fenditura (direzione sample) sono degli offsets di circa un centinaio di DN introdotti dall'elettronica di read-out (Figura 2.8, centro). La distribuzione del pattern di offsets introdotti dallo stadio di readout varia da un'osservazione ad un'altra essendo dipendente dal modo operativo e dalla sequenza di accensioni e spegnimenti consecutivi dello strumento che introducono dei reset sull'elettronica. Il contributo relativo di questo effetto, come può essere stimato dalla Figura 2.8 (basso), é di circa $\pm 2\%$ rispetto al segnale medio sul frame.

Il flat-field di uno spettrometro ad immagine operante con un piano focale bidimensionale (direzione spettrale, band=b; direzione spaziale, sample=s) é definito come:

$$flat(s, b) = \frac{DN(s, b)}{DN(s^*, b)} \quad (2.10)$$

dove s^* é un punto di riferimento lungo l'asse della fenditura (per VIMS-V $s^* = 25$) sul quale é stata calcolata la risposta radiometrica dello strumento. In Figura 2.9 é mostrata la sequenza di flat field, ciascuno definito secondo la 2.10, per i 12 frames che costituiscono il cubo iperspettrale di Venere.

Come si può apprezzare da questa immagine il flat field é estremamente stabile lungo la direzione di scan: questo risultato ha portato all'assunzione che il flat non sia dipendente dalla posizione lungo l'asse di scansione e che la media di questi 12 flat possa essere considerata rappresentativa per lo strumento. Questa assunzione viene giustificata dal fatto che il flat field degli spettrometri pushbroom come VIMS-V é scarsamente dipendente dalla posizione dello specchio di scansione rispetto al boresight. Viceversa spettrometri whiskbroom, come VIMS-IR, hanno un flat field fortemente dipendente dalla posizione dello specchio di scan lungo l'asse delle lines.

La media dei 12 flat é mostrata in Figura 2.10 (destra). Sulla matrice di flat-field si osservano i seguenti effetti:

- coppie di strutture orizzontali che assumono valori positivi e negativi ai due estremi della fenditura; le più intense sono posizionate attorno alle bands=44 e 61 (corrispondenti a $\lambda=666$ e 790 nm); altre due sono attorno alle bands=10 e 26 ($\lambda=417$ e 468 nm).
- una struttura di offset verticali introdotti dall'elettronica di readout; questo effetto é presente su tutti i frames delle aquisizioni dell'atmosfera di Venere e corrisponde a differenze massime di circa 100 DN lungo l'asse della fenditura.

L'impiego di questo flat-field nella calibrazione dei dati in volo comporta l'introduzione di alcuni effetti sistematici legati alla variazione della posizione degli offsets di readout sul piano focale; poiché questo pattern cambia ad ogni accensione-spegnimento dello strumento, la presenza di questo effetto provoca la comparsa di un rumore addizionale sul dato calibrato. La strategia adottata per ridurre il contributo del rumore indotto dal flat é stata quella di

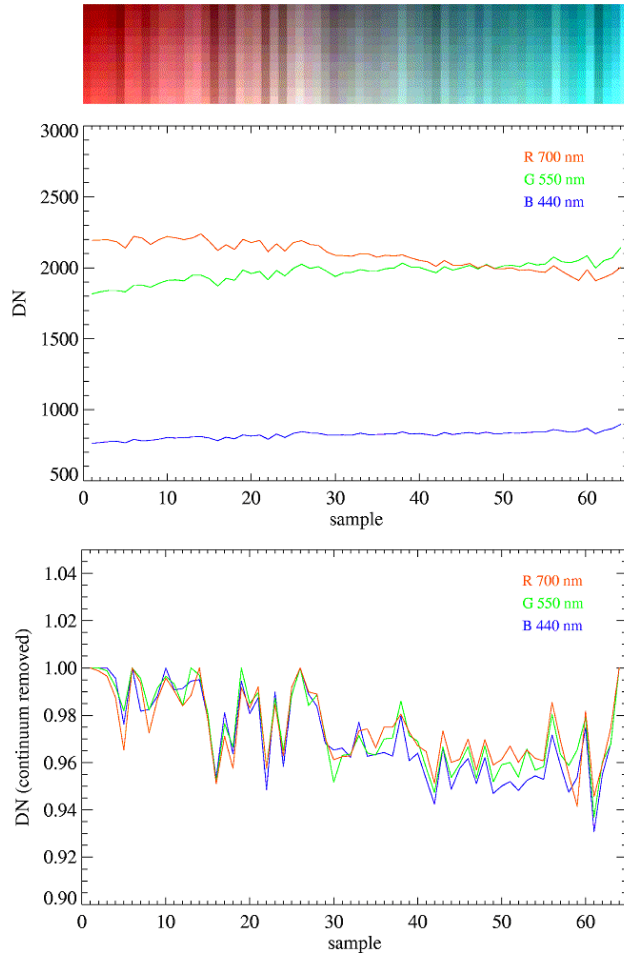


Figura 2.8: *Alto: immagine RGB dell'atmosfera di Venere (cubo V1308947365). Centro: profili RGB orizzontali lungo la line centrale ($l=6$). Basso: profili RGB rimossi del continuo indicativi delle fluttuazioni relative del segnale.*

rimuovere mediante un filtro di smoothing (di larghezza 5 pixels) l'effetto degli offsets lungo ciascuna riga monocromatica della matrice di flat. Questa matrice di flat-field, mostrata in Figura 2.10 (destra) viene utilizzata nella calibrazione dei dati in volo di VIMS-V in modalità nominale.

L'applicazione del filtro di smoothing rimuove con grande efficacia le strutture dovute al read-out senza modificare l'andamento complessivo del flat field; questo effetto é evidente osservando come vengono trasformati i profili estratti sulle matrici di flat field raw e smooth alle bande 10, 26, 44, 61 su cui si osserva la massima variabilità del segnale (Figura 2.11).

I risultati dell'analisi statistica sulla matrice di flat prima e dopo il processing é riportata in Tabella 2.3. Dall'analisi degli istogrammi in Figura 2.12 risulta che lo smoothing provoca

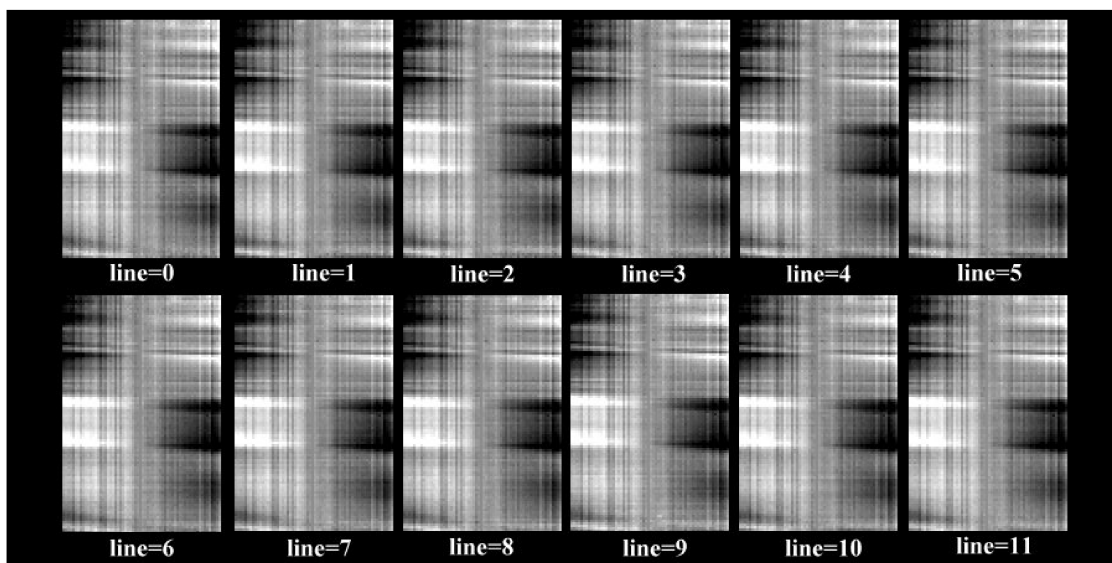


Figura 2.9: Sequenza delle acquisizioni di flat field lungo le 12 lines del cubo V1308947365. L'estrema ripetibilità e stabilità del flat é evidente dalla sequenza. La direzione dei sample é lungo l'asse orizzontale; bands lungo l'asse verticale.

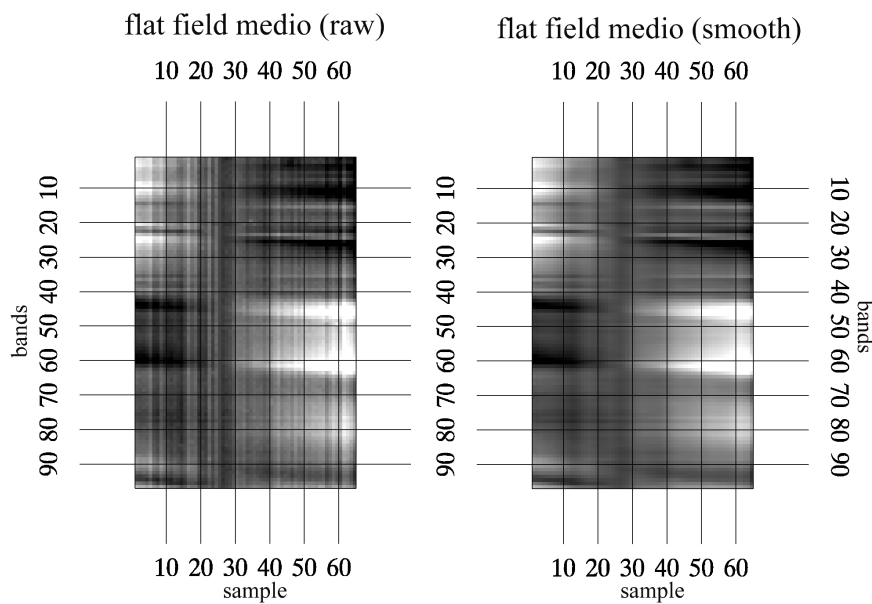


Figura 2.10: Sinistra: Flat-field di VIMS-V in modalità nominale risultante dalla media dei 12 flat mostrati in Figura 2.9. Destra: Flat-Field di VIMS-V in modalità nominale corretto per gli offsets dell'elettronica di lettura mediante smoothing eseguito lungo la direzione spaziale per ogni banda spettrale.

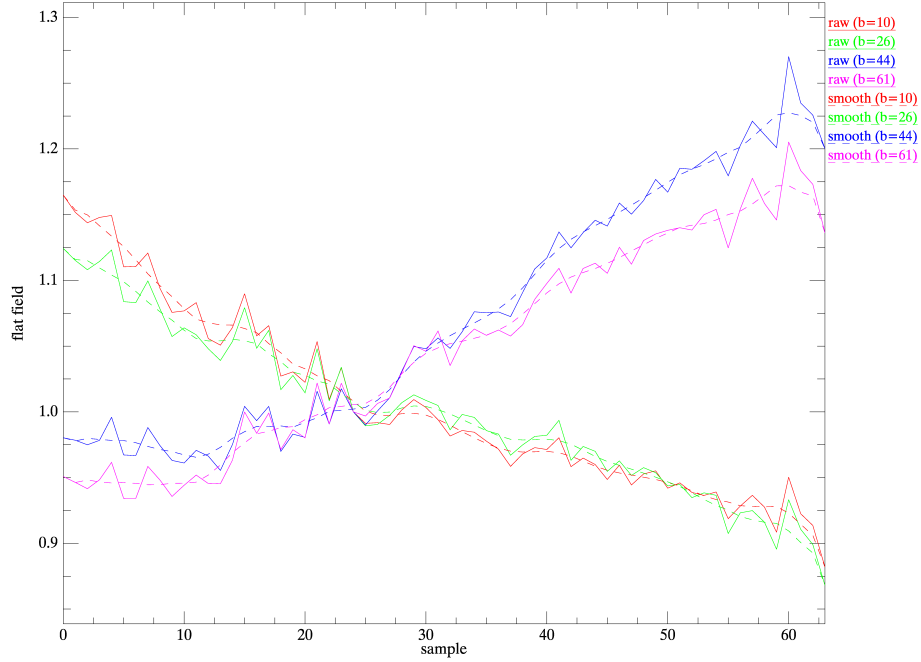


Figura 2.11: *Profili spaziali sul flat field raw e smooth di VIMS-V alle bands=10, 26, 44, 61.*

una piccola ma significativa riduzione della deviazione standard, dal 4.63% al 4.47%, grazie al drastico abbattimento del numero di pixel influenzati dal read out; il processo di smoothing genera un istogramma dei valori di flat field maggiormente gaussiano rispetto al dato raw raggruppando un maggior numero di pixels attorno al valor medio e rimuovendo oscillazioni di alta frequenza.

	flat field raw	flat field smooth
min	0.868138	0.868138
max	1.270179	1.227485
mean	1.028071	1.027704
stdev	0.046383	0.044739

Tabella 2.3: *Valori statistici sui flat field raw e smooth di VIMS-V.*

Sfortunatamente durante il fly-by di Venere non é stato possibile acquisire cubi in alta risoluzione spaziale: questo fatto tuttavia non impedisce di valutare un flat-field applicabile per i dati ottenuti in questa modalit  operativa visto che conosciamo esattamente come opera lo strumento nei due modi (vedi sezione 1.6).

Il segnale di un singolo pixel nominale (risoluzione spaziale 500 mrad/sample, risoluzione spettrale 7.3 nm/band) corrisponde alla somma dei segnali di 3x5 pixels fisici sul piano focale (x3 lungo la direzione spaziale e x5 lungo la direzione spettrale) integrata su tre posizioni dello

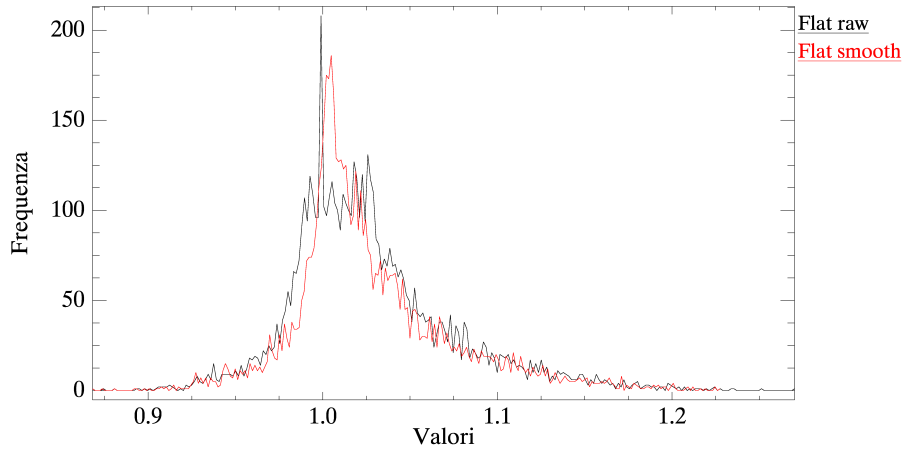


Figura 2.12: Istogrammi dei flat field raw e smooth di VIMS-V. Notare la riduzione del numero di pixel influenzati dal read out attorno al valore 0.99.

specchio di scansione: complessivamente quindi il segnale di un pixel nominale corrisponde alla media del segnale di 45 pixels fisici. Poiché il tempo di integrazione è definito come il tempo necessario a completare tre acquisizioni, ciascuna regione di 3×5 pixels fisici viene illuminata per un tempo uguale ad $1/3$ del tempo di integrazione. La regione della CCD utilizzata in modalità nominale è compresa tra i pixels fisici $0 < Y < 191$ (direzione spaziale, sample) e $0 < X < 479$ (direzione spettrale, band); in questo modo lo spettro corrispondente al centro della fenditura (sample=31) viene registrato dai pixels posti a $Y=93, 94, 95$ mentre l'immagine monocromatica della fenditura alla band 50 ricade sui pixel spettrali posti a $X=250, 251, 252, 253, 254$.

In alta risoluzione (risoluzione spaziale 166 mrad/sample, risoluzione spettrale 7.3 nm/band) può essere acquisito un qualsiasi sottoinsieme della CCD fino ad un massimo di 64 pixels fisici lungo la direzione spaziale mentre il binning $\times 5$ lungo la direzione spettrale viene mantenuto. Se ad esempio si vuole mantenere lo stesso boresight della modalità nominale occorre utilizzare la regione della CCD compresa tra i pixels fisici $63 < Y < 127$ (direzione spaziale, s) e $0 < X < 479$ (direzione spettrale, b). Lo spettro corrispondente al centro della fenditura (sample $s=31$) ricade sul pixel fisico posto ad $Y=94$ mentre l'immagine monocromatica della fenditura alla band=50 continua a ricadere sui pixels posti a $X=250, 251, 252, 253, 254$. La conoscenza di questi parametri permette di stabilire un metodo per derivare il flat-field in alta risoluzione spaziale interpolando i valori dalla regione centrale (di 21×96 pixels) del flat nominale su una griglia di 64×96 punti. In modo del tutto analogo, se la regione della CCD utilizzata è decentrata rispetto al boresight, è comunque possibile ricavare il flat field in alta risoluzione spaziale.

2.3.3 Responsività

La responsività di uno spettrometro ad immagine é necessaria per convertire il segnale del pixel (in DN/s) in unità fisiche di radianza spettrale ($W\text{ cm}^{-2}\text{ nm}^{-1}\text{ sterad}^{-1}$) o di riflettanza spettrale (percentuale della luce solare riflessa) (Hanel et al., 1992).

Il segnale di Mare Crisium in corrispondenza del pixel scelto per la calibrazione (s^*, l^*)=(25, 18) é dato da:

$$DN_{Crisium}(s^*, b, l^*) = ITF(s^*, b)\rho_{Crisium}(b)SR_E(b)t_M \quad (2.11)$$

dove ITF é la funzione di trasferimento strumentale espressa in (DN/s)(cm² nm sterad/W), $\rho_{Crisium}$ é la riflettanza di Mare Crisium precedentemente calcolata nell'equazione 2.7, t_M é il tempo di integrazione per il cubo lunare e SR_{Earth} é la radianza solare misurata alla distanza media Terra-Sole ed assunta uguale per la Luna. Dalla precedente equazione 2.11 si ricava la ITF spettrale sul sample s^* :

$$ITF(s^*, b) = \frac{DN_{Crisium}(s^*, b, l^*)}{\rho_{Crisium}(b)SR_E(b)t_M} \quad (2.12)$$

Per un target T di riflettanza spettrale ignota ρ_T , posto a distanza D_T (in AU) dal Sole, possiamo valutare il segnale fornito da VIMS-V con un tempo di integrazione t_T (in s) come:

$$DN_T(s, b) = ITF(s, b)\rho_T \frac{SR_E(b)}{D_T^2} t_T \quad (2.13)$$

Sostituendo la 2.12 nella 2.13 si ottiene la riflettanza spettrale del target in funzione delle grandezze usate per la calibrazione in volo:

$$\rho_T = \left(\frac{t_M \rho_{Crisium}(b)}{DN_{Crisium}(s, b, l)} \right) \left(\frac{D_T^2 DN_T(s, b, l)}{t_T} \right) \quad (2.14)$$

Dalla precedente espressione segue che se si conosce la riflettanza spettrale del punto usato per la calibrazione allora la riflettanza del target non é più funzione dello spettro di radianza solare:

$$\rho_T(s, b, l) = resp(s, b) \frac{D_T^2 DN_T(s, b, l)}{t_T} \quad (2.15)$$

dove la responsività dello strumento, espressa in s/DN, é data da:

$$resp(s, b) = \frac{t_M \rho_{Crisium}(b)}{DN_{Crisium}(s^*, b) FF(s, b)} \quad (2.16)$$

In quest'ultima espressione sono stati inclusi i coefficienti della matrice di flat field (equazione 2.10) per estendere la risposta strumentale su tutto il piano focale; poiché il profilo del flat field al sample s^* di calibrazione é unitario, su questo pixel la responsività non risulta essere modificata. In sostanza nella calibrazione radiometrica del pixel al sample s^* é già incluso il flat field del punto e quindi non occorre modificarne ulteriormente la risposta. In Figura 2.13 é riportato il profilo spettrale della responsività al sample $s^*=25$. La matrice di responsività estesa su tutto il frame nominale grazie all'equazione 2.16 é invece riportata in Figura 2.14.

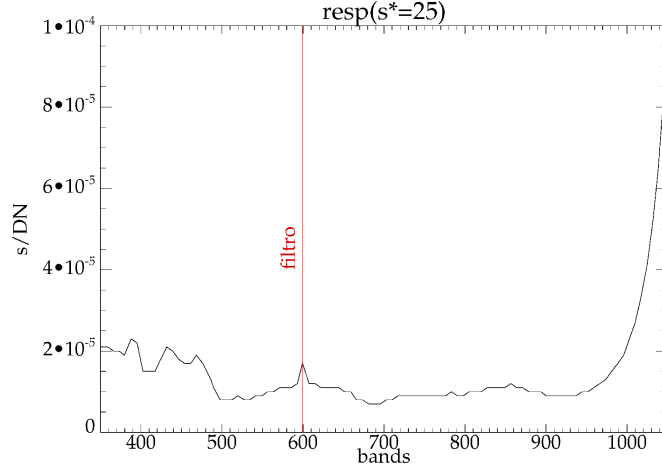


Figura 2.13: Profilo della responsività spettrale di VIMS-V sul pixel di calibrazione $s^*=25$. Il picco a circa 599 nm corrisponde al filtro d'ordine sulla finestra della CCD; la risalita attorno a 1000 nm é dovuto alla ridotta efficienza quantica del detector a queste lunghezze d'onda.

Alternativamente é possibile esprimere la responsività in unità di phot/DN. In questo caso la radianza del target é data da:

$$I(\lambda) = \frac{DN}{t} \frac{phot}{DN} \frac{hc}{A\Omega\lambda\Delta\lambda} \quad (2.17)$$

dove DN é il segnale, t il tempo di integrazione in s, $A=15.90 \text{ cm}^2$ é l'area della pupilla e $\Omega = 2.5 \cdot 10^{-7}$ sterad il field of view (IFOV) di VIMS-V; λ e $\Delta\lambda$ sono la lunghezza d'onda e la risoluzione spettrale ricavate dalla calibrazione spettrale (Tabella C.4). La riflettanza del target é espressa come:

$$\frac{I(\lambda)}{F(\lambda)} = \frac{\pi I(\lambda)}{SI(\lambda) \frac{R_0^2}{R^2}} \quad (2.18)$$

dove $SI(\lambda)$ é l'irradianza solare misurata a $R_0=1 \text{ AU}$ e scalata all'effettiva distanza R target-Sole.

Dalle due precedenti equazioni 2.17 e 2.18 si ricava il fattore di conversione tra le responsività espresse in phot/DN e s/DN:

$$\frac{phot}{DN} = resp \frac{SI(\lambda)}{\pi} \frac{\lambda\Delta\lambda A\Omega}{hc} \quad (2.19)$$

Considerando la risoluzione spettrale di VIMS-V si può utilizzare come spettro di irradianza solare ad 1 AU quello riportato in Thekaekara, (1973).

Nelle tabelle C.6, C.7 e C.8 sono riportati i valori delle responsività (in phot/DN ed in s/DN) alle diverse bande spettrali in modalità nominale (GSS=1).

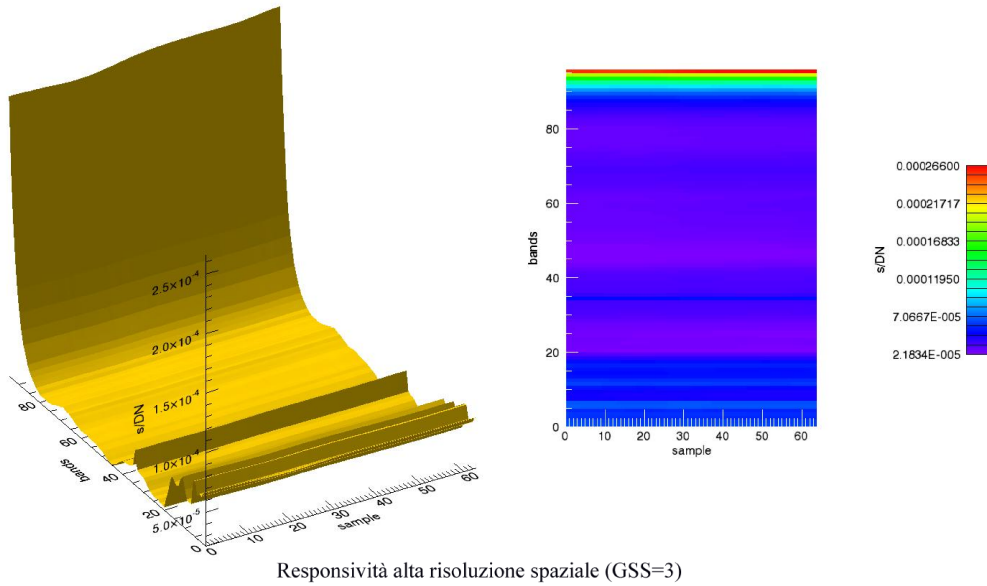
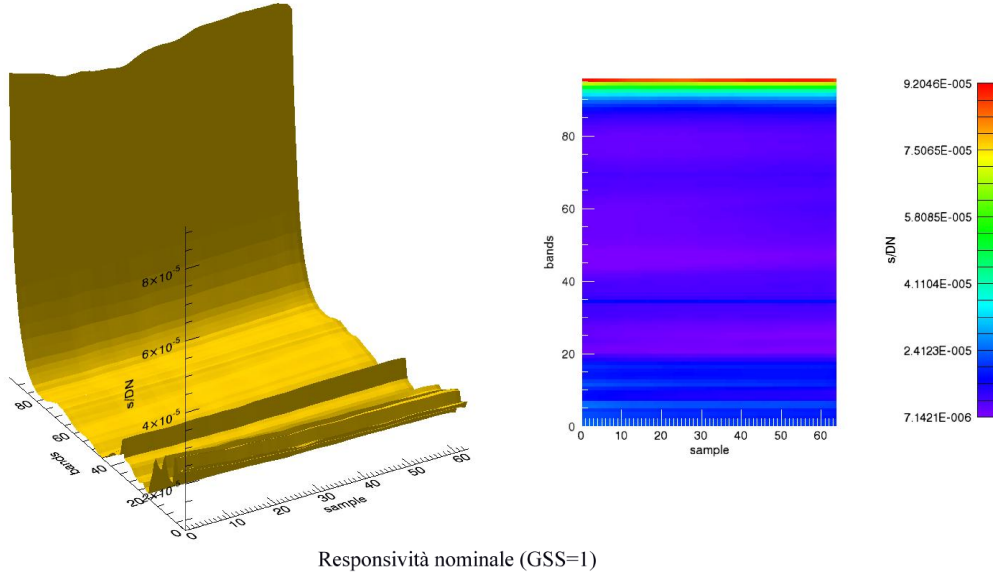


Figura 2.14: Alto: Matrice della responsività di VIMS-V in modalità nominale. Basso: Matrice della responsività in alta risoluzione spaziale (GSS=3) calcolata sulla regione centrale della CCD.

2.4 Validazione della responsività

La responsività precedentemente calcolata sottostima la riflettanza di un target di meno del 10% nel range 500-900 nm raggiungendo un errore massimo relativo del 10% attorno a 800 nm.

Questo effetto sistematico può essere valutato (vedi Figura 2.15) confrontando la riflettanza integrata sul disco di Giove misurata da VIMS-V con uno spettro analogo misurato da terra (Karkoschka, 1994); entrambe le osservazioni sono state compiute con un angolo di fase simile (9.8°). Nello spettro calibrato in riflettanza si osservano due piccoli picchi in corrispondenza delle bande 3 e 5 (366 e 380 nm) introdotti nel processo di calibrazione dal basso rapporto segnale-rumore che caratterizza il segnale del cubo lunare a queste lunghezze d'onda.

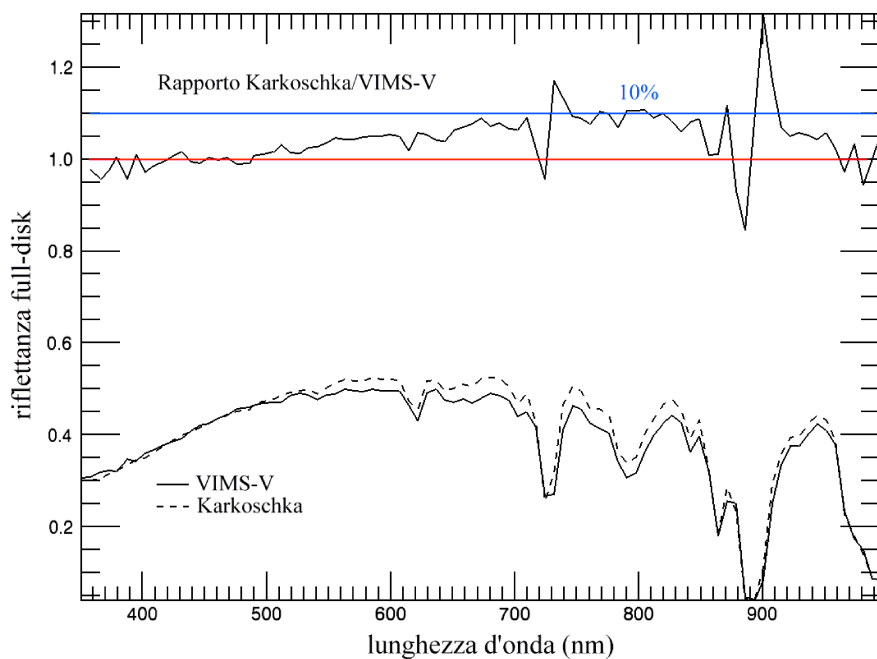


Figura 2.15: Valutazione delle prestazioni radiometriche di VIMS-V sullo spettro full-disk di Giove: confronto con lo spettro misurato da terra da Karkoschka, (1994). Dal rapporto tra i due spettri si osserva che il massimo errore relativo è di circa il 10% a 800 nm.

2.5 Effetti strumentali secondari

In questa sezione vengono analizzati due effetti strumentali, il tilt spettrale ed il readout-noise, che seppur di secondaria importanza devono essere considerati nel processo di calibrazione. Nei paragrafi seguenti vengono descritte le cause che provocano la comparsa di questi effetti, le metodologie usate per caratterizzarli ed i possibili algoritmi di correzione.

2.5.1 Il tilt spettrale

Il tilt spettrale é uno degli effetti strumentali che in genere caratterizza gli spettrometri ad immagine pushbroom. La sua origine va ricercata nelle procedure seguite per l'allineamento dei diversi elementi ottici dello spettrometro: in particolare il corretto funzionamento dello spettrometro Offner richiede il reciproco parallelismo tra l'asse della fenditura, le righe del reticolo di diffrazione e le colonne della CCD. La difficoltà di questa operazione risiede nel fatto che le tolleranze meccaniche richieste sono molto piccole e che il posizionamento degli elementi ottici deve essere garantito anche dopo le vibrazioni subite durante il lancio e nelle condizioni termiche operative dello strumento. Da un'analisi dei dati ottenuti dallo strumento in volo risulta che l'allineamento tra la fenditura dello spettrometro e le colonne della CCD é verificato con un errore dell'ordine del $1/10$ di pixel; invece la direzione delle righe del reticolo sembra formare un angolo rispetto agli altri elementi ottici. Come conseguenza di questa rotazione del reticolo attorno all'asse ottico risulta che le immagini monocromatiche della fenditura raccolte dal piano focale sono traslate lungo l'asse spaziale (vedi Figura 2.17); in sostanza si osserva una distorsione a parallelogramma del segnale sul piano focale con le seguenti conseguenze:

- l'informazione spaziale non é confusa con quella spettrale;
- la traslazione ha andamento lineare lungo l'asse spaziale.

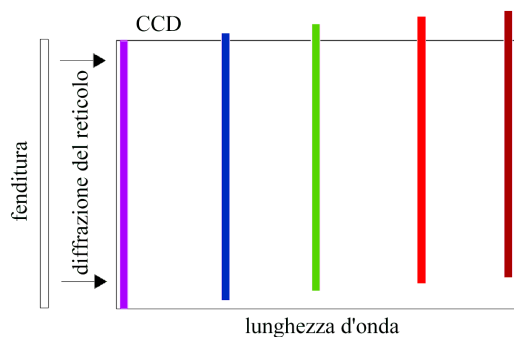


Figura 2.16: *Effetto del tilt spettrale sul piano focale di uno spettrometro ad immagine pushbroom.*

La correzione di questo effetto strumentale ha richiesto una lunga fase di studio dei dati acquisiti dallo strumento in volo e di misure specifiche fatte con il modello spare di VIMS-V in laboratorio. Questo strumento é costruito con componenti flight ed é del tutto analogo a quello in volo; anche le procedure seguite per il montaggio e l'allineamento delle ottiche sono

analoghe al modello da volo. Lo spettrometro é disponibile nella camera pulita del reparto di planetologia dell'Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica dell'INAF di Roma. La testa ottica VCOH-spare é collegata ad un'Elettronica di Prossimità spare e quindi ad un PC su cui é installato l'EGSE (Electrical Ground Support Equipment). Tramite l'EGSE é possibile inviare i comandi alla testa ottica e riceverne in tempo reale i dati scientifici e la telemetria. Le misure sono state effettuate raffreddando lo strumento con del ghiaccio secco posto sul radiatore esterno; in questo modo si é portata la temperatura del piano focale a circa -20°C e ridotto notevolmente il contributo della dark current. La testa ottica é collocata su una montatura micrometrica con movimentazioni azimuthale e verticale collegate ad un controller in grado di garantirne il posizionamento nei due assi con le seguenti risoluzioni:

$$Step_{azimuth} = \frac{1}{10000^{\circ}} = 1.74 \cdot 10^{-6} \text{ rad} \quad (2.20)$$

$$Step_{altezza} = \frac{1}{1000^{\circ}} = 1.74 \cdot 10^{-5} \text{ rad} \quad (2.21)$$

L'asse ottico dello spettrometro (sample=32 in modalità nominale, GSS=1) é allineato con un collimatore (parabola off-axis) di focale $F=1300$ al cui fuoco é collocata una fenditura di test (di dimensioni $3000 \times 52 \mu\text{m}$), orientata ortogonalmente a quella dello strumento, ed illuminata con una sorgente (lampada Oriel HgNe o QTH). Essendo il rapporto di ingrandimento del sistema collimatore-VIMS-V dato da:

$$MR = \frac{F_{VIMS}}{F_{Collimatore}} = \frac{143 \text{ mm}}{1300 \text{ mm}} = 0.11 \quad (2.22)$$

risulta che la fenditura di test appare sul piano focale con le seguenti dimensioni:

$$Lunghezza = MR \cdot L = 0.11 \cdot 3000 = 330 \mu\text{m} \quad (2.23)$$

$$Altezza = MR \cdot W = 0.11 \cdot 52 = 5.7 \mu\text{m} \quad (2.24)$$

Nei seguenti paragrafi vengono descritti i risultati delle due misure eseguite sul modello spare per poter quantificare l'effetto.

Per la descrizione dell'algoritmo di correzione del tilt spettrale si rimanda alla sezione 5.3; tale effetto infatti caratterizza pesantemente anche il canale VIS di VIRTIS-M.

Misura del tilt spettrale mediante scansione larga

Un primo metodo impiegato per la caratterizzazione del tilt spettrale si é basato su un setup che fosse in grado di produrre dei picchi di segnale delle dimensioni di qualche pixel su diversi sample lungo la fenditura ed a diverse lunghezze d'onda. Per far questo si é utilizzata una lampada QTH da 50 W, una serie di filtri interferenziali passabanda (centrati a 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 830, 850, 900, 950, 1000 nm e con una FWHM di circa 20 nm) e la fenditura di test al fuoco del collimatore. La posizione dello spot può essere spostata sul piano focale: lo spostamento lungo i sample corrisponde al movimento verticale della tavola micrometrica su cui é montata la testa ottica mentre la scelta del filtro interferenziale passabanda determina la posizione dello spot lungo le bands. Utilizzando questo setup sono

state ripetute 182 acquisizioni (14 filtri per 13 posizioni spaziali) necessarie per misurare il tilt spettrale lungo l'asse della fenditura di VIMS-V spare; il segnale ottenuto con il filtro a 400 nm (visibile attorno alla $band=7$) é stato massimizzato sul $sample_r = 5$ movimentando la tavola lungo l'asse verticale. Per migliorare la statistica e conseguentemente il rapporto segnale-rumore sono stati registrati 30 frame con il segnale e 10 di dark current. La dark media é stata sottratta dal frame di segnale medio; su quest'ultimo é stato valutato il baricentro dello spot del segnale mediante un fit con una gaussiana bidimensionale che fornisce il baricentro spaziale e spettrale del segnale ($\langle s \rangle$, $\langle b \rangle$). Questo processo é stato ripetuto sulle acquisizioni fatte con i 14 filtri e quindi, in modo analogo, sui $sample_r=10, 15, \dots 60$. I risultati dei 182 fit (baricentri spaziale, spettrale e rispettive σ) ordinati per sample e per filtro sono riportati nelle Tabelle C.9, C.10, C.11.

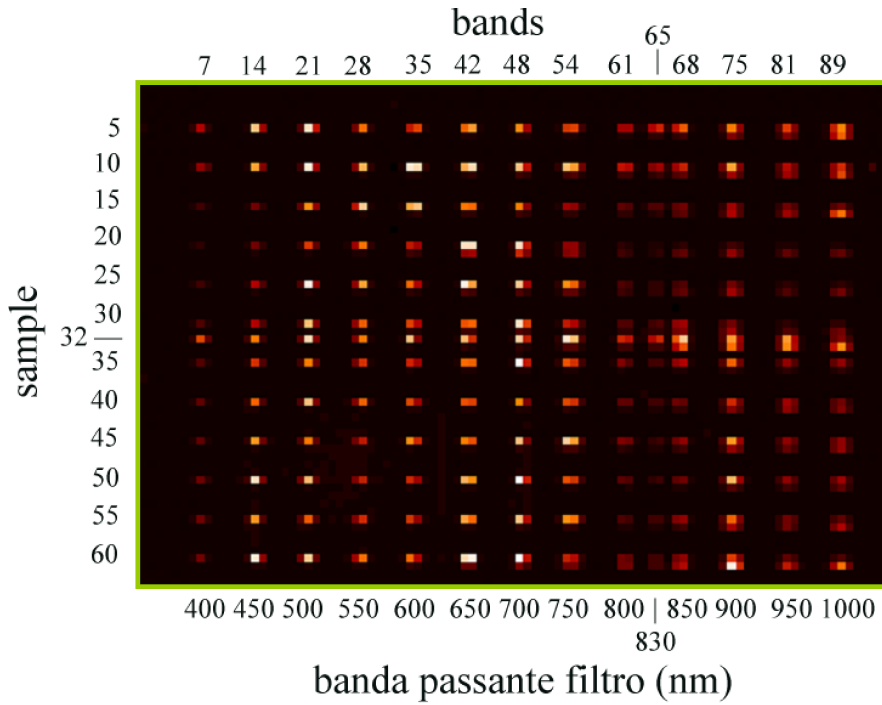


Figura 2.17: *Composizione delle acquisizioni del segnale attraverso i filtri passabanda per la misura del tilt spettrale di VIMS-V spare. Si noti come le posizioni degli spot nel range rosso siano spostati di circa mezzo pixel verso sample maggiori rispetto a quelli blu per effetto del tilt spettrale.*

Per poter meglio visualizzare l'effetto del tilt spettrale sul piano focale si riporta in Figura 2.17 la composizione di tutte le precedenti acquisizioni. Fissata la posizione verticale della tavola, in assenza di tilt tutti i 14 spot dovrebbero apparire allineati sullo stesso sample; osservando invece il segnale acquisito risulta evidente che all'aumentare della lunghezza d'onda gli spot tendono a spostarsi dal sample s all'adiacente $s+1$. Questo fenomeno é quantificato dai risultati dei fit tabulati nelle Tabelle C.9, C.10, C.11: i valori di $\langle s \rangle$ tendono ad aumentare linearmente dal filtro 400 al 1000 su tutti i sample considerati.

Utilizzando i valori dei 14 baricentri ad una fissata posizione verticale della tavola ($sample_r$) é possibile calcolare con un fit lineare $sample = a + b \cdot band$ i coefficienti a , b ; tali valori, assieme al massimo spostamento provocato dal tilt del segnale alla banda 95 rispetto alla 0 sono riportati in Tabella 2.4. La Figura 2.19 contiene i plot dei 13 fit lineari calcolati sui baricentri misurati.

sample _r	a	b (rad)	b (°)	$\Delta s = 96 \tan(b)$
5	4.90637	0.00443064	0.253857	0.425344
10	9.91952	0.00625247	0.358249	0.600245
15	14.8157	0.00895958	0.513346	0.860143
20	20.0346	0.00847809	0.485759	0.813916
25	24.9979	0.00736274	0.421854	0.706835
30	29.9433	0.00758096	0.434357	0.727787
32	31.8548	0.00762123	0.436664	0.731652
35	34.8971	0.00414008	0.237209	0.397450
40	39.8729	0.00630402	0.361193	0.605193
45	44.9235	0.00571463	0.327424	0.548611
50	49.9013	0.00421463	0.241481	0.404607
55	54.9548	0.00566316	0.324475	0.543670
60	59.9057	0.00905975	0.519086	0.869760

Tabella 2.4: Risultati dei fit lineari lungo l'asse della fenditura di VIMS-V spare dei segnali spettrali generati con i filtri interferenziali ai sample 5÷60. Il tilt spettrale introduce un disallineamento tra le band estreme (0 ÷ 95) pari a Δs pixels nominali.

Da questo tipo di analisi risulta che l'effetto del tilt non é costante lungo la fenditura ma varia tra uno shift massimo di 0.869760 al $sample_r = 60$ e minimo di 0.397450 al $sample_r = 35$. Il principale difetto di questo metodo risiede nella discretizzazione del segnale in ingresso ad opera dei pixel del piano focale: essendo la dimensione dell'immagine della fenditura di prova minore delle dimensioni del pixel le stime dei baricentri spaziali sono affetti dall'errore di posizionamento compiuto con la tavola micrometrica sul sample_r. Un sostanziale miglioramento della misura é possibile impiegando il setup descritto nel seguente paragrafo.

Misura del tilt spettrale mediante scansione spaziale subpixel

La misura del tilt spettrale richiede una scansione fine della sorgente di riferimento attraverso l'IFOV del singolo pixel. Usando il movimento verticale della tavola micrometrica si é effettuato uno scan lungo l'intera estensione della fenditura dello spettrometro usando come sorgente al fuoco del collimatore la fenditura di prova illuminata da una lampada spettrale HgNe; la fenditura di prova é stata posizionata ortogonalmente a quella di VIMS-V spare; le 6 righe di emissione spettrale principali della lampada HgNe usate per la valutazione del tilt spettrale sono riportate in Tabella 2.5.

La slit di test é stata mossa ortogonalmente all'asse della fenditura di VIMS-V spare (direzione sample) a step di $0.003^\circ = 5.23 \cdot 10^{-5}$ rad; ciascun pixel spaziale nominale di VIMS-V (IFOV= $500 \cdot 10^{-6}$ rad) viene coperto in $(500 \cdot 10^{-6})/(5.23 \cdot 10^{-5}) = 9.56$ steps. Per coprire l'intero FOV sono stati quindi necessari 640 steps ($640 \cdot 5.23 \cdot 10^{-5} = 0.0334$ rad = 1.9°). A causa del tilt spettrale si osserva un ritardo durante la scansione tra il massimo delle due righe

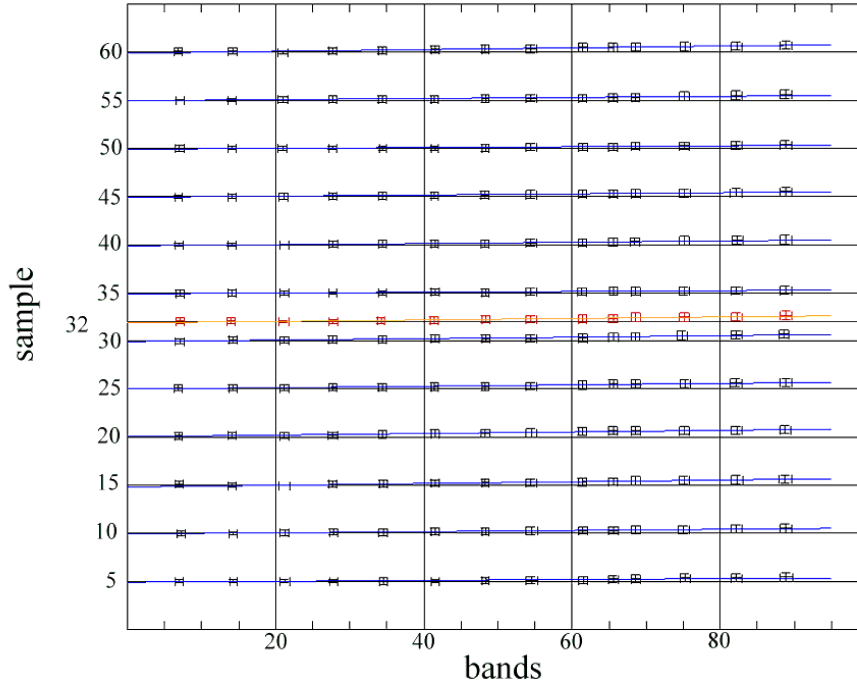


Figura 2.18: Risultati dei fit lineari sui baricentri degli spot usati per stimare il tilt spettrale di VIMS-V spare. I parametri delle rette sono riportati in Tabella 2.4.

Riga di emissione	band	λ (nm)
A	3	366.29
B	9	409.55
C	13	439.19
D	28	544.54
E	32	578.19
F	92	1016.95

Tabella 2.5: Posizioni spettrali delle righe di emissione della lampda HgNe Oriel usata per la misura del tilt spettrale di VIMS-V spare model.

estreme A-F della lampada HgNe su un fissato sample; come si può vedere dalla seguente Figura 2.19, corrispondente alla scansione sul sample $s=59$, i centri di massimo segnale delle righe di emissione A ed F sono separate di circa 5 steps della tavola ($0.015^\circ = 2.64 \cdot 10^{-4}$ rad). Applicando un fit lineare sui baricentri spettrali delle righe di emissione su ciascuna delle 640 posizioni della scansione si ricava una matrice di coefficienti di tilt, intesa come lo spostamento subpixel subito dal segnale della banda b rispetto alla banda $b=0$. Come detto in precedenza la rotazione del reticolo introduce una deformazione a parallelogramma della luce diffratta sul piano focale: per questo motivo l'effetto del tilt è sostanzialmente costante lungo la direzione spaziale (s) mentre aumenta linearmente dalle basse alle alte lunghezze d'onda (Figura 2.21) In Figura 2.21 è graficata la variazione del coefficiente di tilt lungo la direzione spaziale;

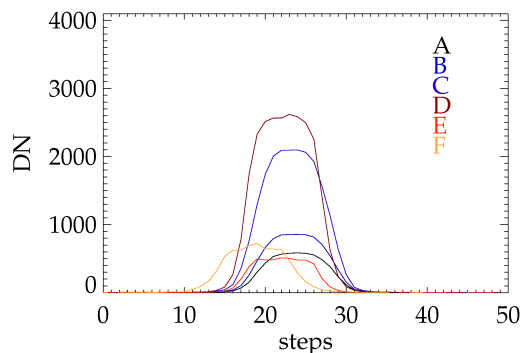


Figura 2.19: *Effetto del tilt spettrale misurato su VIMS-V spare con la scansione sub-pixel: profili spaziali delle 6 righe di emissione della lampada HgNe (Tabella 2.5) durante lo scan sul sample $s=59$.*

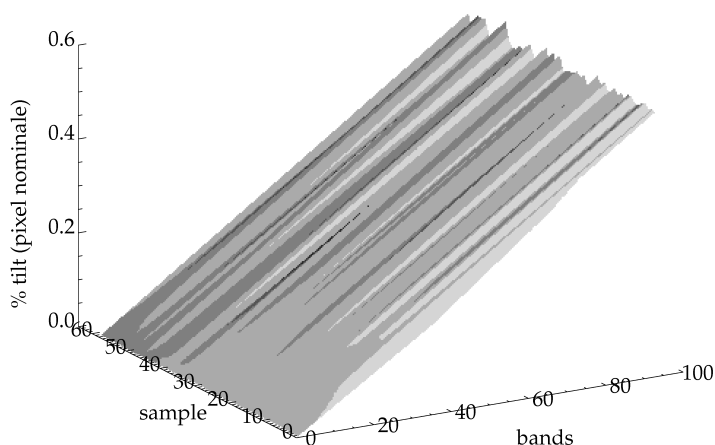


Figura 2.20: *Matrice del tilt spettrale sul piano focale (in percentuale di pixel nominale, $GSS=1$).*

salvo che per pochi sample, su cui si osservano variazioni minori, si misura un angolo di tilt spettrale medio di $2.8574845 \cdot 10^{-6}$ rad corrispondente ad uno spostamento massimo tra i due estremi del range spettrale (band 0 rispetto 95) di $(96 \cdot 2.8574845 \cdot 10^{-6}) / (500 \cdot 10^{-6}) = 0.548$ pixels. Questo tilt é confrontabile con l'effetto osservato nei dati acquisiti dallo strumento in volo descritti in Figura 2.22.

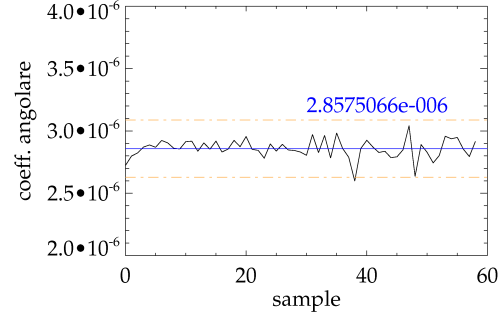


Figura 2.21: Variazione del coefficiente angolare di tilt (in rad) lungo l'asse spaziale della fenditura di VIMS-V spare. Sono indicati i livelli medio ed i $\pm 3\sigma$.

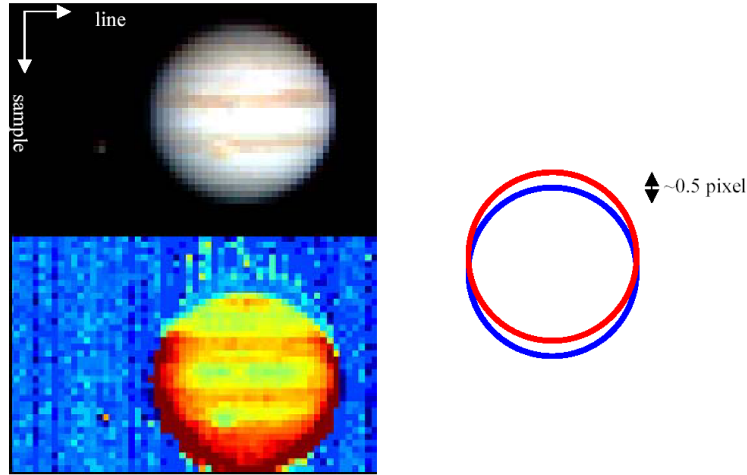


Figura 2.22: Effetto del tilt spettrale sui dati in volo di VIMS-V in modalità nominale. Alto-destra: l'immagine RGB visibile di Giove mostra un eccesso cromatico blu sul bordo inferiore e rosso su quello superiore. Questo effetto è dovuto ad un tilt spettrale di circa 0.5 pixel lungo l'asse spaziale tra i due estremi spettrali (pannello di sinistra). Basso-destra: l'effetto può essere visualizzato sui due bordi dell'immagine di Giove paralleli alla fenditura dello spettrometro mediante il rapporto tra le due immagini monocromatiche estreme ($b=95$)/($b=0$).

2.5.2 L'algoritmo di despiking-destriping

Due tra le principali fonti di rumore di VIMS-V sono la dark current e gli offset introdotti dal circuito di read-out. In linea di principio questi effetti possono essere caratterizzati e rimossi utilizzando frames di dark acquisiti con gli stessi tempi di esposizione dell'osservazione. Purtroppo la necessità di ridurre il numero di parti in movimento nello strumento (e quindi il numero di possibili failures meccaniche) ha impedito l'utilizzo di uno shutter per acquisire frames di dark. Come visto in sezione 1.3.1 anche l'utilizzo delle colonne schermate sulla CCD non permette una stima corretta dell'effetto. E' tuttavia possibile ricavare frames di dark current muovendo lo specchio di scan M1 in corrispondenza del paraluce interno del telescopio (corrispondente al modo Background discusso in sezione 1.6). Poiché queste misure vengono acquisite saltuariamente e non sempre con il tempo di esposizione corrispondente a quello delle acquisizioni scientifiche si è resa necessaria la formulazione di una strategia alternativa in grado di rimuovere l'effetto. Quando VIMS-V opera in basso guadagno i conteggi di dark current sono tipicamente distribuiti attorno a 50-60 DN con una deviazione standard di circa 2-3 DN. Su questo pattern si distribuisce il readout che introduce degli offset del segnale a certi sample. Questo pattern si ripete ad ogni frame, con il risultato che le immagini (monocromatiche o RGB) sono contaminate da offset costanti lungo la direzione di scansione (lines). Soprattutto su immagini aventi un basso rapporto segnale rumore l'effetto è particolarmente evidente (vedi Figura 2.23): la rimozione di questo fenomeno richiede una trattazione specifica dei dati.

Il caso più semplice è quello in cui l'immagine contenga almeno una line l^* di fondo cielo su cui stimare il contributo del readout noise. Il corrispondente frame può essere utilizzato per rimuovere il background ed il readout mediante la seguente sottrazione:

$$\rho(s, b, l)_{corr} = \rho(s, b, l) - \rho(s, b, l^*) \quad (2.25)$$

Il limite principale di questo metodo è la possibile contaminazione della line di fondo cielo da parte della straylight proveniente dall'oggetto osservato.

Nel caso in cui l'immagine da analizzare non contenga una line di fondo cielo è possibile rimuovere l'effetto ricorrendo a due metodi diversi:

- sottrazione di un frame di fondo cielo acquisito in una seconda immagine con gli stessi parametri strumentali (risoluzione spaziale, data region, tempo di esposizione, temperatura del piano focale);
- trattamento statistico dell'immagine con un algoritmo di destriping.

Il primo caso si riduce all'equazione 2.25 in cui la $\rho(s, b, l^*)$ è stata stimata da una seconda acquisizione; nel secondo caso si utilizza un filtraggio condizionato del segnale con lo scopo di rimuovere l'effetto cercando di minimizzare il livello di informazione persa nel processo. Dopo diversi tentativi, fatti su diversi tipi di target ed in diverse condizioni di illuminazione, è risultato che i migliori risultati sono ottenuti mediante un filtro basato su un kernel di 3x3 pixels applicato a tutti i pixels di un cubo di dimensioni (samples, bands, lines) con la seguente condizione (espressa in codice IDL):

```

frame=fltarr(samples+2, bands+2)
processed_frame=fltarr(samples, bands)
processed_cube=fltarr(samples, bands, lines)
for l=0, lines-1 do begin
    frame(*,*)=cube(*,*,l)
    neighbor=fltarr(9)
    for s=1,samples-1 do begin
        for b=1,bands-1 do begin
            neighbor(0)=frame(s,b)
            neighbor(1)=frame(s-1,b)
            neighbor(2)=frame(s+1,b)
            neighbor(3)=frame(s,b-1)
            neighbor(4)=frame(s-1,b-1)
            neighbor(5)=frame(s+1,b-1)
            neighbor(6)=frame(s,b+1)
            neighbor(7)=frame(s-1,b+1)
            neighbor(8)=frame(s+1,b+1)
            neighbor_sort=neighbor[sort(neighbor)]
            stdev=(neighbor_sort(7)-neighbor_sort(1))/2.
            if frame(s,b) ge neighbor_sort(4)+level*stdev then begin
                processed_frame(s-1,b-1)=neighbor_sort(4)
            endif else begin
                processed_frame(s-1,b-1)=frame(s,b)
            endelse
            processed_cube(s-1,b-1,l)=processed_frame(s-1,b-1)
        endfor
    endfor
endfor

```

Mediante questo codice si confronta il segnale del pixel (s, b) con quello dei circostanti otto pixels nel range (s-1÷s+1, b-1÷b+1). Quando il segnale del pixel centrale (s, b) diventa maggiore della mediana del kernel più un certo livello di soglia volte la deviazione standard locale allora viene sostituito dalla mediana; altrimenti viene mantenuto il valore originario (Berry et Burnell, 2000). La scelta del livello di soglia dipende dalle caratteristiche dello strumento e del target; il superamento del livello di soglia corrisponde ad un segnale fuori statistica rispetto agli adiacenti compresi nel kernel. In genere questa condizione avviene per i pixel interessati dai raggi cosmici (despiking) e dagli offset di readout (destriping). Sia la deviazione standard che la mediana sono valutati sul kernel di 9 pixels centrato sul pixel (s, b). Per i dati di VIMS-V i migliori risultati vengono in genere ottenuti applicando questo algoritmo due volte: la prima volta con un livello di soglia di 1.25, la seconda con un valore di 1.15. In Figura 2.23 sono riportati i risultati ottenuti applicando questo filtro su un'acquisizione di un satellite di Saturno (Giapeto, cubo S07-COMPE001-V1483225145, samples=54, bands=96, lines=36, 186624 pixels). Il primo processamento con il livello di soglia 1.25 stdev individua 25090 pixels fuori statistica (pari al 13.4% del totale) mentre con il secondo passaggio a 1.15 stdev vengono corretti 14518 pixels (7.7%). In particolare si può notare come nell'immagine RGB processata (pannello di destra in Figura 2.23) e nello spettro di un suo pixel (riquadro in basso) sia drasticamente ridotto il contributo delle strutture verticali dovute al readout noise e degli spikes.

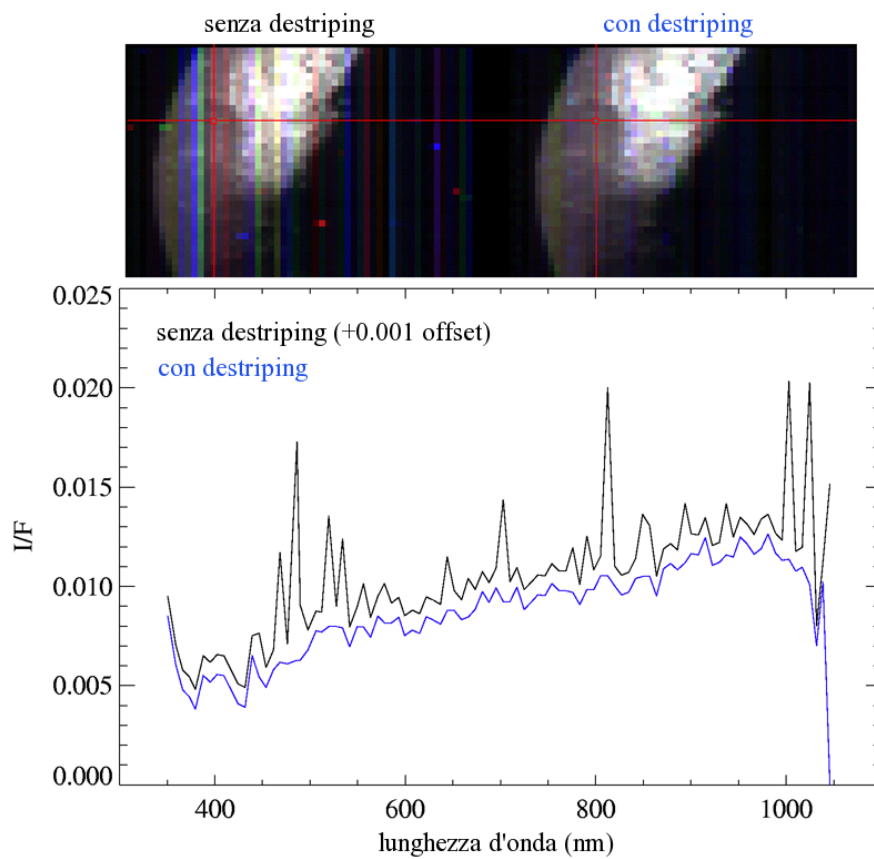


Figura 2.23: Alto: immagine RGB di Giapeto calibrata prima (sinistra) e dopo (destra) l'applicazione dell'algoritmo di despiking-destriping. Basso: variazione dello spettro sul punto indicato dell'immagine in seguito all'applicazione dell'algoritmo.

Parte II

Rosetta VIRTIS-M

L'esperimento VIRTIS-M

Advance in science come by laying brick upon brick,
not by sudden erection of fairy palaces.

J. S. Huxley

3.1 Configurazione di VIRTIS-M

L'esperimento VIRTIS (Visible Infrared Thermal Imaging Spectrometer) sul satellite Rosetta (ESA) impiega due teste ottiche (-M, -H) dedicate rispettivamente alla spettroscopia ad immagine VIS-NIR (250-5000 nm) ed alla spettroscopia infrarossa (2500-5000 nm) ad alta risoluzione spettrale. In questa tesi ci concentreremo sull'analisi delle prestazioni e sulla calibrazione del canale -M.

VIRTIS-M é il primo spettrometro ad immagine dedicato all'esplorazione planetaria che condivide lo stesso sistema ottico per analizzare il range spettrale visibile (250-1050 nm) ed infrarosso (1000-5000 nm). Le elevate prestazioni spaziali (IFOV di $250 \mu rad/pixel$, FOV di 64×64 mrad) e spettrali ($\Delta\lambda = 1.8 nm/band$ nel VIS e $9.8 nm/band$ nell'IR) permettono l'osservazione delle unità composizionali elementari delle superfici planetarie con elevate risoluzioni (Coradini et al., 1996; Coradini et al., 1998; Coradini et al., 1999).

Il disegno ottico di VIRTIS-M deriva da quello di VIMS-V su Cassini precedentemente descritto nel capitolo 1; tenuto conto delle numerose analogie tra i due esperimenti in questo capitolo descriveremo soprattutto le migliorie tecnologiche e le nuove funzionalità introdotte nel progetto di VIRTIS-M. Per poter meglio comprendere la complessità dell'esperimento se ne riporta in Figura 3.1 il diagramma funzionale ed in Figura 3.2 il disegno della struttura termomeccanica.

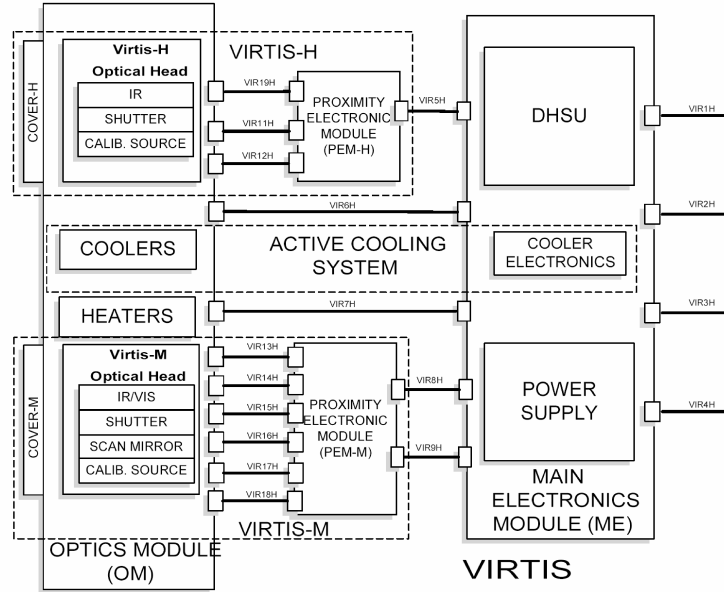


Figura 3.1: Diagramma funzionale di Rosetta-VIRTIS-M. L'esperimento è costituito da due teste ottiche, VIRTIS-M e -H; da un sistema di raffreddamento attivo mediante cryocoolers; da due elettroniche di prossimità (PEM) per i canali -M e -H; da una box di Main Electronics per la temporalizzazione, acquisizione e compressione dei dati scientifici ed ingegneristici dei due canali e per l'interfacciamento con il bus del satellite (Galileo Avionica).

Il disegno termomeccanico di VIRTIS è studiato per poter garantire diversi requisiti tecnico-scientifici:

- mantenimento di un elevato coallineamento delle due teste ottiche (-M e -H) ($\leq 125\mu\text{rad}$) in condizioni di volo; la struttura impiegata deve essere quindi in grado di essere sufficientemente rigida e resistente alle vibrazioni indotte dal lancio;
- raggiungimento delle temperature operative delle diverse parti dell'esperimento (piani focali, telescopi, spettrometri, scatole dell'elettronica) in funzione dei vincoli termici e radiativi del satellite.

Alla base dell'esperimento si trova la Pallet baseplate (349 x 409 mm) che fornisce l'interfacciamento termomeccanico con il satellite. Su questa sono montati i due cryocoolers necessari al raffreddamento attivo dei piani focali IR dei canali -M e -H, le scatole delle proximity electronics e gli otto sostegni in titanio della struttura. Nella parte superiore della struttura sono alloggiate le due teste ottiche che sono interfacciate con il radiatore necessario a mantenere in equilibrio radiativo l'intero strumento. L'esterno della struttura è infine isolato da MLI (MultiLayer Insulation).

In Tabella 3.1 sono riportati i principali parametri meccanici, ottici ed elettronici di VIRTIS-M.

	VIRTIS-M-VIS	VIRTIS-M-IR
Proprietà spettrali	Range spettrale	350-1050 nm
	Risoluzione spettrale $\lambda/\Delta\lambda$	100 ÷ 380
	Campionamento spettrale alta risoluzione	2.0 nm/band (432 bands)
		10.0 nm/band (432 bands)
Proprietà spaziali	IFOV alta risoluzione	250 × 250 μ rad
	FOV alta risoluzione	64 × 64 mrad
Telescopio	Area pupilla	5.77 cm ²
	Diametro pupilla	27.1 mm
	Lunghezza focale	152 mm
	$f/\#$	5.6
	$A\Omega$	3.6 · 10 ⁻¹¹ m ² sterad
Spettrometro	Dimensioni fenditura	38 μ m × 9.53 mm
	Densità linee reticolo	267.9 linee/mm
	Dispersione sul piano focale	52.6 nm/mm
Piani Focali	Tipo sensore	CCD Thomson TH7896
	Dimensione attiva	1024 × 508 pixels
	Dimensione acquisita	432 × 256 (b × s)
	Dimensione pixel fisico	19 × 19 μ m
	Dimensione pixel acquisito	38 × 38 μ m
	Full well capacity	10 ⁶ e ⁻
	Rumore di read-out	2 ADU
	Dark current	< 1e ⁻ /s
	A/D converter	16 bit
	Repetition time	5 ÷ 20 ÷ 60 s
		5 ÷ 20 ÷ 60 s
Temperature di esercizio	FPA	CCD: 150 ÷ 190 K
	Ottica	HgCdTe: 65 ÷ 90 K
Masse	Testa ottica M+H	19.43 kg
	PEM	-M: 3.2 kg; -H: 1.27 Kg
	ME	5.01 kg
	Totale M+H	29.1 kg

Tabella 3.1: Parametri meccanici, ottici ed elettronici di VIRTIS-M.

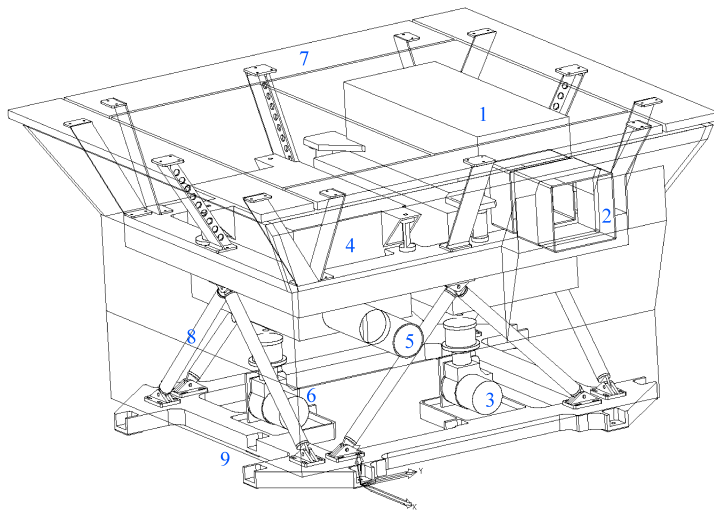


Figura 3.2: *Disegno termomeccanico di Rosetta-VIRTIS visto dalla direzione +X: 1. VIRTIS-M; 2. Baffle VIRTIS-M; 3. Cryocooler VIRTIS-M; 4. VIRTIS-H; 5. Baffle VIRTIS-H; 6. Cryocooler VIRTIS-H; 7. Radiatore; 8. Sostegni in titanio; 9. Pallet baseplate (Galileo Avionica).*

3.1.1 Telescopio e scanning mirror

Lo spettrometro utilizza due piani focali bidimensionali (CCD per il VIS, HgCdTe per l'IR) ed acquisisce in pushbroom muovendo lo specchio di scansione primario del telescopio.

La configurazione ottica si basa su di un telescopio Burch invertito (specchi M1-M3) accoppiato ad uno spettrometro Offner (M4-M6, vedi Figura 3.3); il telescopio è in grado di generare immagini anastigmatiche mentre la coma viene corretta ponendo l'apertura stop su M5 vicino al centro di curvatura del primario e rendendo quindi il telescopio monocentrico.

Il sistema, costruito completamente con specchi, risulta al limite di diffrazione su un vasto campo di vista e su un vasto range spettrale: a $\pm 1.8^\circ$ la point spread function sul piano focale è inferiore a $6 \mu m$, circa $1/7$ dell'ampiezza della fenditura dello spettrometro e del lato del pixel. In Figura 3.4 è riportata l'ampiezza del FOV di VIRTIS-M.

3.1.2 Spettrometro e reticolo di diffrazione

Uno dei principali vantaggi derivanti dalla configurazione ottica di VIRTIS-M è la riduzione delle dimensioni delle ottiche; questo è possibile perché lo spettrometro Offner non necessita dell'impiego di collimatori, obiettivi o beam splitter; d'altra parte questo tipo di configurazione richiede che il telescopio e lo spettrometro abbiano un uguale f-number e che siano entrambi telecentrici (Melchiorri et al., 2004). La pupilla del sistema ottico, ovvero la superficie nello spazio dell'oggetto coniugata al grating ed a M5 (apertura stop), si trova a circa 75 cm dal vertice di M1. Lo spettrometro Offner (vedi Figura 3.5) è integrato al fuoco del telescopio Shafer; il fuoco del telescopio viene collocato in corrispondenza della fenditura di ingresso dello spettrometro.

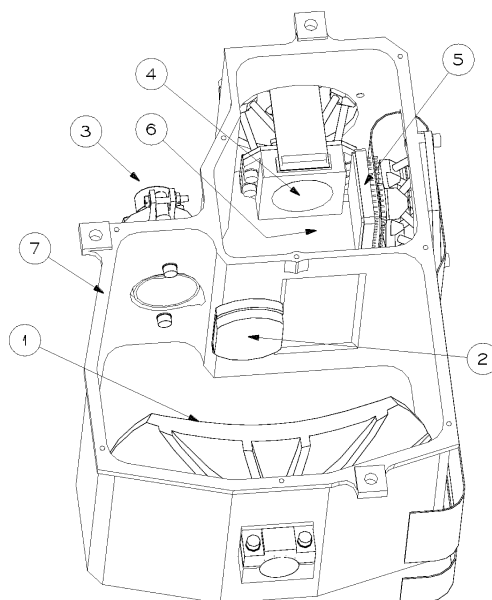


Figura 3.5: Disegno dello spettroscopio Offner di Rosetta-VIRTIS: 1) specchio M6; 2) reticolo di diffrazione; 3) fenditura di ingresso e shutter elettromeccanico; 4) piano focale infrarosso; 5) piano focale visibile; 6) posizione dello specchietto di ripiegamento sul piano focale visibile (non mostrato); 7) struttura meccanica (Galileo Avionica.)

regione dedicata all'IR é più estesa di quella VIS per poter compensare la minore radianza emessa dalla cometa in questo range spettrale. Poiché il grating corrisponde all'apertura stop del sistema, la diversa estensione delle due regioni del reticolo corrispondono alle effettive dimensione della pupilla VIS ed IR: a parità di lunghezza focale questa configurazione determina il diverso f-number che caratterizza i due canali (5.6 per il VIS e 3.2 per l'IR).

Il reticolo convesso, realizzato dalla Zeiss con tecnica olografica ed incisione con fascio ionico, contiene due regioni separate ottimizzate per la diffrazione del visibile e dell'infrarosso (Tabella 3.2). Secondo le specifiche del disegno ottico la direzione delle righe del reticolo deve essere parallela alla direzione della fenditura ed ortogonale alla direzione di dispersione spettrale sui piani focali.

	Visibile	Infrarosso
Diametro del Reticolo	Ø 13.85 mm	Ø 13.85 - 25.28 mm
Densità delle linee	267.9 linee/mm	53.8 linee/mm
Direzione delle linee	normale al lato piano del reticolo	parallela alle linee VIS
Profilo delle linee	laminare	a dente di sega
Profondità linee H ₁	230 nm	
Profondità linee H ₂	340 nm	
Rapporto aree A ₁ /A ₂	0.33/0.67	
Coating	Al	Al

Tabella 3.2: Caratteristiche del reticolo di VIRTIS-M.

La regione VIS del reticolo é costituita da linee con profilo rettangolare e con una densità di 268 *grooves/mm* (Figura 3.6). Per poter compensare la bassa irradianza solare e la bassa efficienza quantica della CCD nell'UV e nel vicino IR, le linee del reticolo sono state realizzate con due diverse profondità per ottimizzare l'efficienza spettrale del reticolo agli estremi del range spettrale. Questo disegno del reticolo VIS é quindi molto simile a quello di VIMS-V descritto nella sezione 1.2.3. Il canale IR utilizza la corona circolare esterna del reticolo con linee aventi un profilo a dente triangolare (blazed). In Figura 3.7 sono riportate la riflettanza e l'efficienza spettrale del reticolo IR. L'ostruzione causata dalla regione VIS sulla pupilla IR non provoca drastiche riduzioni delle performances ottiche: su entrambi i canali gli spot corrispondenti a sorgenti puntiformi sono compresi nelle dimensioni del pixel ($< 36 \mu m$).

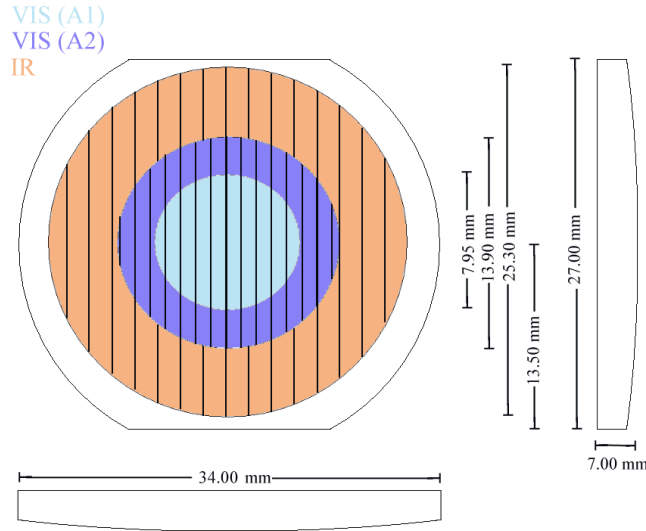


Figura 3.6: *Struttura del reticolo convesso di Rosetta-VIRTIS: definizione della regione delle linee VIS ed IR (cerchi di Rowland) e dimensioni.*

3.1.3 Piani focali Visibile ed Infrarosso

L'ampio range spettrale di VIRTIS-M (250-5000 nm) può essere registrato soltanto mediante l'impiego contemporaneo di due piani focali ottimizzati nel visibile e nell'infrarosso.

Canale VIS: il piano focale del canale visibile é una CCD Thomson di 1024x1024 pixels con disegno frame transfer (Figura 3.9). Il pixel ha forma quadrata di $19 \mu m$ di lato mentre il pixel utilizzato é ottenuto con un binning 2x2 ed é quindi quadrato di $38 \mu m$ di lato (vedi Tabella 3.1). La regione attiva e quella di memoria (schermata) sono di 1024x508 pixels. In condizioni operative il sensore é raffreddato a circa 155 K; a questa temperatura la dark current é trascurabile ($< 1 e^-/s$). Grazie all'architettura MPP (multi-pinned-phase) la CCD può operare anche a temperatura ambiente con livelli di dark accettabili. Un ulteriore vantaggio derivante dall'impiego in modalità invertita del sensore é quella di ridurre il rischio

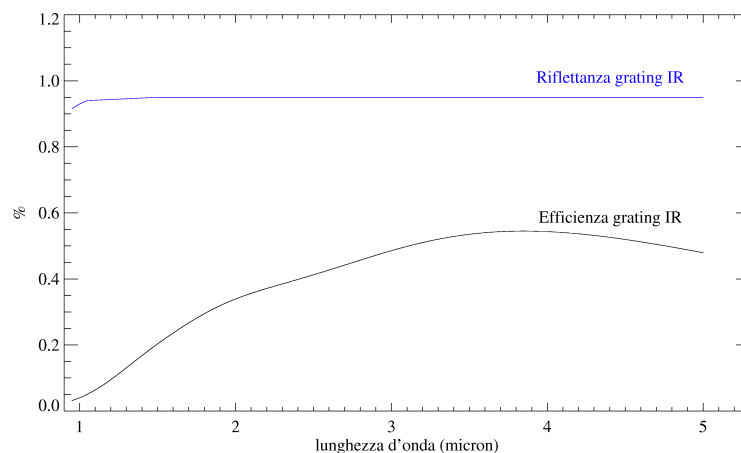


Figura 3.7: Riflettanza ed efficienza spettrali del reticolo infrarosso di Rosetta-VIRTIS.

di danneggiamenti causati dalle radiazioni. Sul piano focale visibile é collocato un film sottile d'oro per aumentare la cattura dei fotoni a lunghe lunghezze d'onda (FIR) mentre uno strato di lumogen permette di aumentare l'efficienza nel range UV (FUV). La giunzione dei due filtri, larga circa un pixel, sarà meglio descritta nella sezione dedicata alla determinazione della responsività del canale visibile (sezione 4.6.1). In Figura 3.10 sono graficate le trasmittanza spettrali dei due filtri d'ordine e l'efficienza quantica della CCD in condizioni operative.

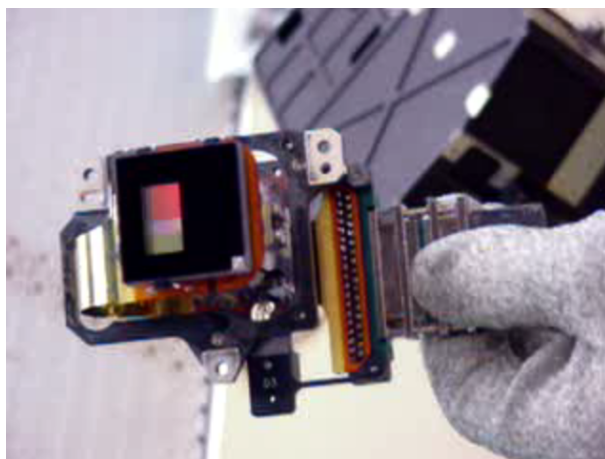


Figura 3.8: La CCD di VIRTIS-M durante il montaggio. Il piano focale é montato sul supporto contenente le interfacce termomeccaniche ed elettriche; sono visibili i due filtri posizionati sulla finestra (FUV bianco, FIR rosa) e lo strato di lumogen (verde) (Galileo Avionica).

Canale IR: impiega un sensore Raytheon bidimensionale di materiale fotosensibile (Mercurio-Cadmio-Tellurio, HgCdTe) accresciuto su un substrato con un cut-on a $\lambda = 895nm$ ed un

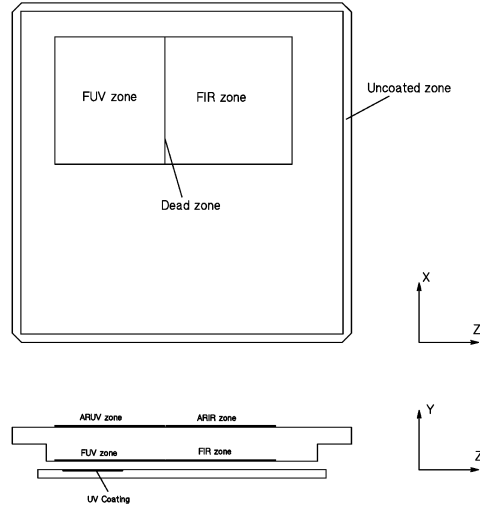


Figura 3.9: Disegno del piano focale VIS di Rosetta-VIRTIS (Galileo Avionica).

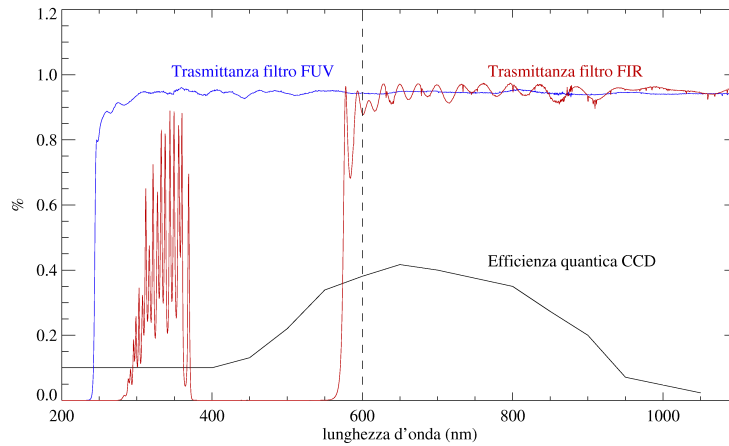


Figura 3.10: Trasmittanza dei filtri FUV-FIR depositati sulla finestra ed efficienza quantica del piano focale visibile di Rosetta-VIRTIS. La linea verticale attorno a 600 nm corrisponde alla zona di giunzione dei filtri d'ordine FUV e FIR sul piano focale.

cutoff a $\lambda = 5030\text{nm}$ (Figura 3.11). I cristalli fotosensibili vengono accresciuti mediante tecnica MEP (Molecular Epitaxy Process) in modo da minimizzare i possibili difetti strutturali del piano focale (pixel difettosi); il processo è inoltre ottimizzato per garantire l'uniformità elettrica grazie alla qualità strutturale dei cristalli. Come risultato si ottiene un sensore dalle prestazioni molto più elevate dei tradizionali sensori IR basati su drogaggi InSb.

Altri aspetti importanti nella definizione dei requisiti del sensore sono stati la resistenza ai cicli termici, all'irraggiamento ed agli stress meccanici. La matrice sensibile è di 270×435 pixels; il singolo pixel è quadrato, con un pitch di $38 \mu\text{m}$. La sensibilità ai bassi flussi fotonici viene ottenuta grazie ad un amplificatore a transimpedenza della carica (CTIA) accumulata

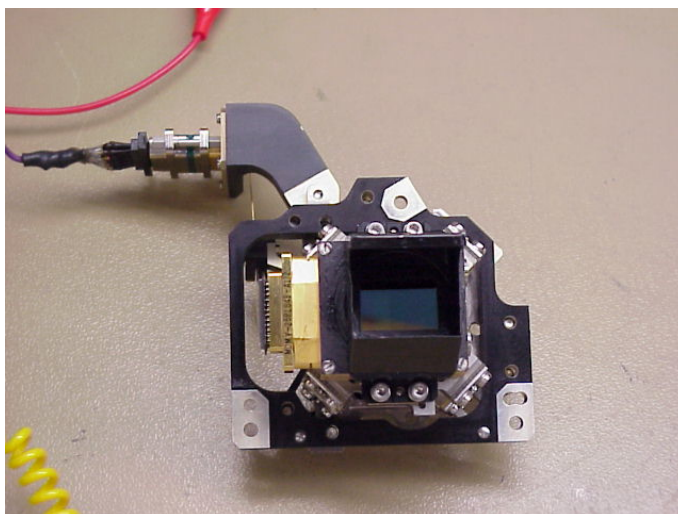


Figura 3.11: Il piano focale IRFPA di VIRTIS-M durante il montaggio. Il piano focale é montato sul supporto contenente le interfacce termomeccaniche ed elettriche (Galileo Avionica).

nel pixel. Il pilotaggio e lettura dei pixel avviene mediante un circuito multiplexer CMOS (Figura 3.12). Il segnale generato dal CTIA é letto da un circuito CDS (Correlated Double Sampling) in grado di abbattere il rumore a bassa frequenza di tipo $1/f$. Il condensatore del CDS viene letto all'inizio ed al termine dell'esposizione: la differenza di carica misurata corrisponde al segnale misurato. La carica di inizio acquisizione viene immagazzinata da un secondo condensatore in modo da mantenere il valore durante il tempo di esposizione. In questo modo il sensore può operare in modalità snapshot. La colonna di buffer contiene i circuiti di amplificazione del segnale e di interfacciamento al bus e contribuisce all'isolamento dei pixels; due resistori termici al platino sono posizionati sul retro del chip per monitorare la temperatura operativa.

Il sensore é alloggiato in una struttura termomeccanica in modo da garantire la necessaria rigidità, temperatura e protezione da agenti esterni. Una finestra ottica a tenuta, su cui sono depositati i filtri di soppressione degli ordini superiori del reticolo e del background termico, permette l'ingresso del fascio ottico. Il piano focale infrarosso é suddiviso in 6 zone spettrali su cui sono depositati i corrispondenti filtri passabanda ottimizzati per consentire il passaggio della luce del primo ordine del reticolo secondo lo schema seguente:

- 1° regione: $0.9 \div 1.6 \mu m$
- 2° regione: $1.2 \div 1.9 \mu m$
- 3° regione: $1.9 \div 2.5 \mu m$
- 4° regione: $2.4 \div 3.75 \mu m$
- 5° regione: $3.6 \div 4.4 \mu m$

- 6° regione: $4.3 \div 5.0 \mu m$

Le elevate prestazioni di questo sensore (dark current $< 10 \text{ fA}$ a 70 K) richiedono un controllo accurato della temperatura di esercizio. In Figura 3.13 sono graficate le trasmissioni spettrali dei filtri, della finestra ottica e la riflettanza del substrato del piano focale infrarosso.

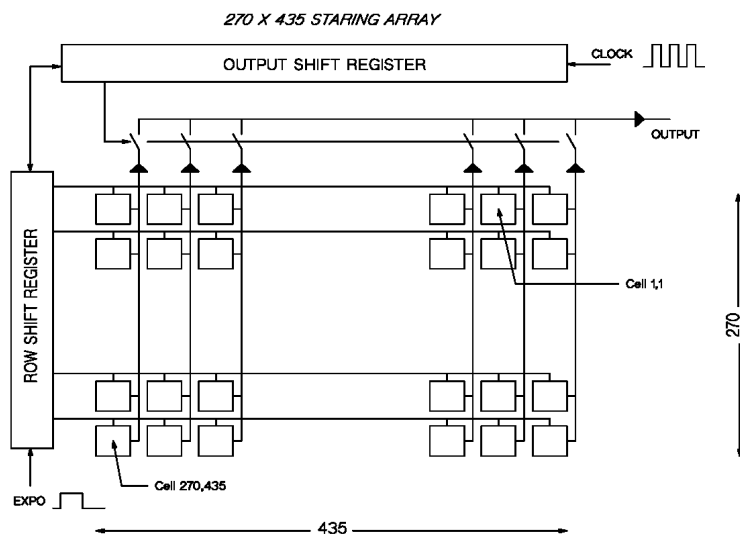


Figura 3.12: Disegno del piano focale infrarosso di Rosetta-VIRTIS-M (Galileo Avionica).

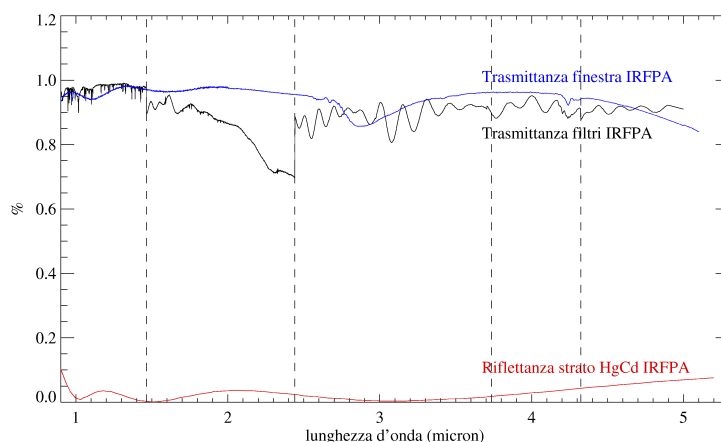


Figura 3.13: Trasmittanza della finestra e dei filtri e riflettanza del substrato HgCd del piano focale infrarosso di Rosetta-VIRTIS-M. Le 4 linee verticali indicano le zone di giunzione dei filtri d'ordine sul piano focale: filtro A - B/C a $\lambda = 1.464 \mu m$; filtro B/C - D a $\lambda = 2.441 \mu m$; filtro D - E a $\lambda = 3.734 \mu m$; filtro E - F a $\lambda = 4.323 \mu m$.

Diversamente dalla configurazione scelta per VIMS in VIRTIS-M si è deciso di non utilizzare un sistema di raffreddamento passivo poiché questo non avrebbe garantito una sufficiente affidabilità quando il satellite si fosse trovato all'interno della coda della cometa in presenza di

un elevato flusso di contaminanti sul radiatore. Il sensore viene quindi raffreddato mediante un cryocooler operante su ciclo Stirling; una thermal strap flessibile provvede al collegamento termico tra il sensore infrarosso ed il cryocooler. Poiché i piani focali sono montati molto vicini nello spettrometro e poiché questi hanno requisiti termici molto diversi (155 K per il visibile, < 80 K per l'infrarosso) si é dovuta prestare particolare attenzione alla costruzione termomeccanica predisposta alla loro integrazione. Con riferimento alla Figura 3.14, il piano focale infrarosso é disposto ortogonalmente all'asse X mentre quello visibile é ortogonale all'asse -Y. La CCD riceve la luce diffratta dal reticolo mediante uno specchio di ripiegamento che intercetta la sola porzione di luce visibile. La luce dispersa nell'infrarosso prosegue lungo l'asse X fino a raggiungere il piano focale HgCdTe.

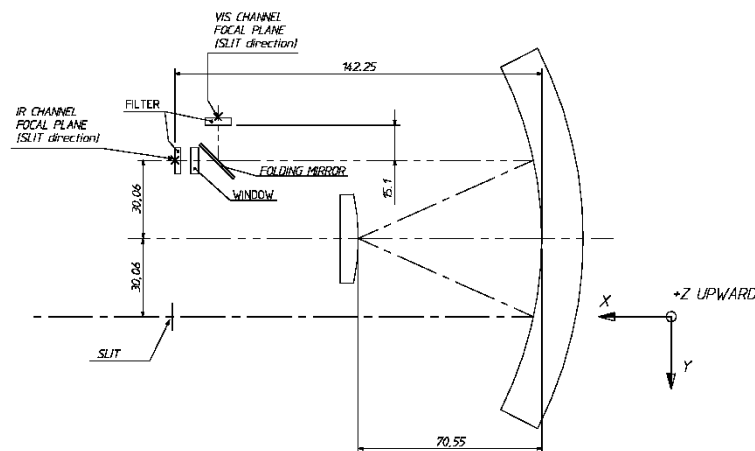


Figura 3.14: Configurazione dei piani focali -VIS ed -IR nello spettrometro di VIRTIS-M (Galileo Avionica).

3.1.4 Elettronica di comando

L'elettronica di comando di VIRTIS é divisa in una scatola di Main Electronics (ME) ed in una Elettronica di Prossimità (PEM).

La scatola della Main Electronics (ME) é fisicamente separata dalla testa ottica ed é alloggiata all'interno del satellite. Al suo interno sono raccolte schede dedicate alle diverse funzioni dello strumento: power supply, gestione del cryocooler, interfacciamento al satellite, gestione della telemetria e dei telecomandi; la parte dedicata al processing dei dati scientifici é svolta dalla DHSU (Data Handling and Support Unit): questa parte é costituita dalle Digital Processing Units (DPU), dalle interfacce con il satellite e con la testa ottica. La DHSU, compreso il proprio power supply e generatore di clock, é ridondata nella main electronics poiché svolge un ruolo di primaria importanza. In caso di failure della DHSU l'interfaccia di bordo é commutata automaticamente sul canale ridondata in modo da continuare a garantire il funzionamento dell'esperimento. In generale i compiti svolti dalla DHSU possono essere così riassunti:

- Acquisizione, preprocessamento e formattazione dei dati scientifici e di calibrazione interna;
- Controllo e gestione dell'accensione-spegnimento delle teste ottiche compresi gli elementi elettromeccanici quali cover, shutter, scanning mirror e cryocooler;
- Verifica dello stato operativo dello strumento e sua comunicazione al bus del satellite;
- Esecuzione delle attività di uplink e downlink;
- Interpretazione ed esecuzione dei telecomandi;
- Sincronizzazione delle attività tra VIRTIS ed il bus del satellite.

Tenuto conto del grande data-rate prodotto dallo strumento, la filosofia dell'architettura di bordo é quella di processare on-line il segnale e di trasferirlo immediatamente alla memoria di massa del satellite. A differenza di VIMS il processamento e la compressione dei dati di VIRTIS avviene esclusivamente via software e senza l'impiego di compressori hardware.

Il collegamento tra la DHSU e la testa ottica avviene mediante interfacce seriali e con un common-bus. Ciascuna DPU é collegata da un bus ad alta velocità con la memoria di massa del satellite e da due bus a bassa velocità per la comunicazione della telemetria (TM) e dei telecomandi (TC).

Il processamento e l'elaborazione dei dati avviene per subslice, elementi di $64 \text{ pixels} \times 32 \text{ spectels}$. Il dato raw viene digitalizzato a 16 bit e trasferito attraverso le interfacce seriali di VIRTIS-M e -H, buffer FIFO (First In first Out) e common bus alla memoria locale della DHSU. Il processo di elaborazione dei dati avviene in background, indipendentemente dallo stato di acquisizione dei piani focali. La DPU é dedicata al processamento e compressione dei dati scientifici oltre che a quelli di telemetria. Tutti questi processi necessari al controllo dello strumento sono definiti da modi selezionabili mediante telecomandi. Dopo il processamento e la compressione, i dati scientifici e di HK (housekeeping) sono formattati e trasferiti al buffer FIFO dell'interfaccia del satellite; la DHSU é preposta anche al monitoraggio dello stato dei diversi sottosistemi dello strumento. Gli HK operazionali sono acquisiti periodicamente e trasferiti a terra attraverso il canale di telemetria a bassa velocità del satellite. La DHSU si basa su un processore TCS 21020 di segnale digitale (Digital Signal Processor) con una potenza di calcolo di circa 20 MIPS; il chip é a basso consumo e segue specifiche radiation-hardened. In generale tutte le porte di I/O, il software ed i registri di bordo sono mappate in uno spazio memoria dedicato (banchi PMSx e DMSx) della DSP. Il controllo dello strumento avviene attraverso la lettura e scrittura di registri nelle aree di memoria; ciascun area della memoria é definita attraverso segmenti separati nell'architettura software. La memoria della DPU é suddivisa in tre parti: la memoria contenente il codice del programma operativo, la memoria con i dati del programma e la memoria immagine con i dati (usata in ridondanza). La memoria dedicata al codice del programma utilizza un quadro PROM, EEPROM e SRAM. Il codice da impiegarsi in caso di safe-mode é registrato in una PROM radiation-hardened; questo viene caricato nel boot principale del sistema ad ogni accensione ed eseguito all'interno delle SRAM, anch'esse radiation-hardened. Il quadro EEPROM contiene la parte principale

del software applicativo e dei parametri di bordo; il contenuto della EEPROM assieme a quello della PM RAM può essere riscritto mediante TC e letto-verificato attraverso opportuni pacchetti di TM. La validità delle informazioni contenute nella EEPROM viene verificato al momento del boot secondario del sistema attraverso un checksum; quest'ultimo, assieme a diversi parametri di status, viene salvato in tre blocchi di memoria indipendenti della stessa EEPROM. Infine nell'architettura della DPU é incluso un watch-dog per interrompere loop senza fine ed azzerare eventuali errori del software di bordo.

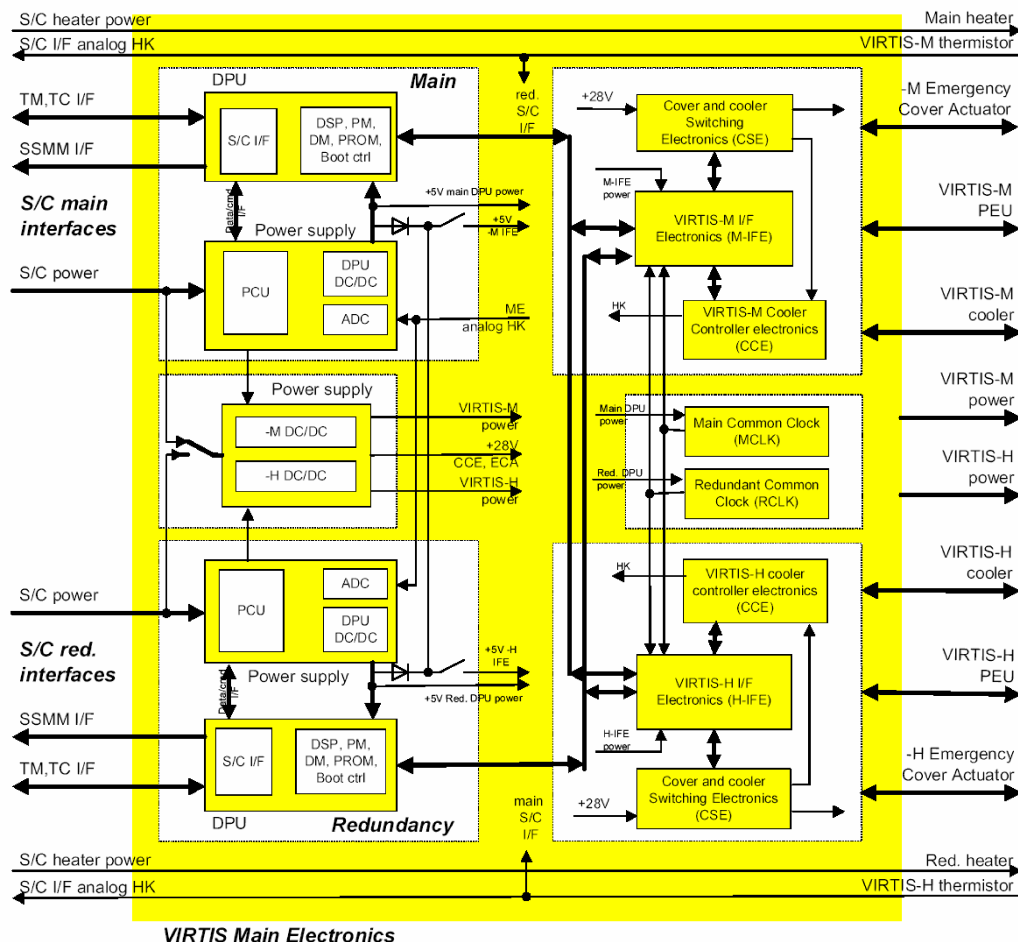


Figura 3.15: La Main Electronics di Rosetta-VIRTIS (Galileo Avionica).

La Proximity Electronics (PEM), interfacciata alla ME, é preposta alla gestione dei piani focali, dello specchio di scan, del meccanismo del cover, della digitalizzazione dei dati scientifici e di housekeeping. La PEM é fisicamente costituita da una scheda madre e da quattro schede secondarie (formato eurocard); due di queste sono dedicate alla gestione del canale VIS, una del canale IR ed infine l'ultima gestisce lo specchio di scan ed il cover. In Figura 3.16 é riportato il diagramma a blocchi della PEM e della testa ottica di VIRTIS-M. I circuiti di interfacciamento con la ME sono posti sulla scheda madre della PEM e si basano

su interfacce monodirezionali bilanciate. Le due schede secondarie dedicate al canale VIS si compongono dei seguenti quattro blocchi:

- acquisizione dati;
- conversione analogica-digitale;
- bias e driver della CCD;
- FPGA.

Il blocco di acquisizione dati é costituito da una catena di amplificazione a basso rumore contenente un circuito CDS (Correlated Doubling Sample) in grado di eliminare ogni incertezza causata dal reset noise. Il blocco di conversione analogica-digitale, basato su un AD977 converter, permette un campionamento a 16 bit con un tempo di conversione di $9 \mu s$. I driver di fase della CCD sono in grado di traslare il segnale generato dal FPGA ai livelli MOS in modo da guidare correttamente i grandi carichi capacitivi delle file di pixel della CCD con bassi consumi elettrici. I compiti principali del FPGA sono quelli di generare il clock di acquisizione e lettura della CCD, di interpretare i comandi impartiti dalla ME, di trasmettere i dati acquisiti alla ME, di gestire l'accensione delle due lampade di calibrazione interna e dei riscaldatori di annealing.

Da un punto di vista funzionale la scheda secondaria dedicata al canale IR svolge dei compiti abbastanza simili a quelli precedentemente descritti per il canale VIS. L'unit  di controllo e di acquisizione dati del sensore IR   pi  semplice di quella della CCD e richiede infatti una sola scheda secondaria per poter essere implementata. Gran parte dei circuiti di lettura sono collocati infatti direttamente sul sensore grazie alla tecnologia multiplexer. Inoltre, poich  l'FPGA del canale IR deve svolgere molte meno operazioni di quello del canale VIS, gli   stato assegnato il compito di gestire il meccanismo di controllo dello shutter, utilizzato per la misura della dark current.

L'acquisizione, conversione e trasmissione degli housekeeping ingegneristici (misurazioni periodiche di temperature, tensioni e correnti strumentali) sono suddivisi tra le schede dei due canali VIS ed IR.

La quarta ed ultima scheda secondaria   dedicata al controllo del puntamento dello specchio di scansione M1; il movimento di scan avviene per step, ciascuno dei quali equivalente alla larghezza del FOV della fenditura dello spettrometro. Lo specchio   movimentato mediante un motore a due fasi in DC che fornisce la coppia torcente necessaria a ruotare il meccanismo del pivot; la corrente immessa negli avvolgimenti dello statore induce una coppia sul magnete del rotore centrale del motore. Il trasduttore della posizione dell'asse del motore, sostanzialmente un trasformatore ad accoppiamento variabile, fornisce un'accuratezza angolare di 10 arcsec. Un FPGA (Actel)   dedicato al controllo della rotazione del motore di scan (mediante un link seriale sincrono) e dell'apertura-chiusura del cover. Il movimento del cover   fornito da un motore a step; le posizioni di apertura e di chiusura del cover sono calcolate a partire da un riferimento meccanico che fornisce il segnale di end. Inoltre due sensori di prossimit , basati sull'effetto Hall, sono usati per monitorare il raggiungimento delle posizioni di apertura e di chiusura del cover. In caso di failure del meccanismo di apertura,   possibile inviare da terra un telecomando che attiva un attuatore piropilastico in grado di scollegare il motore a step e di mantenere aperto il cover in maniera definitiva.

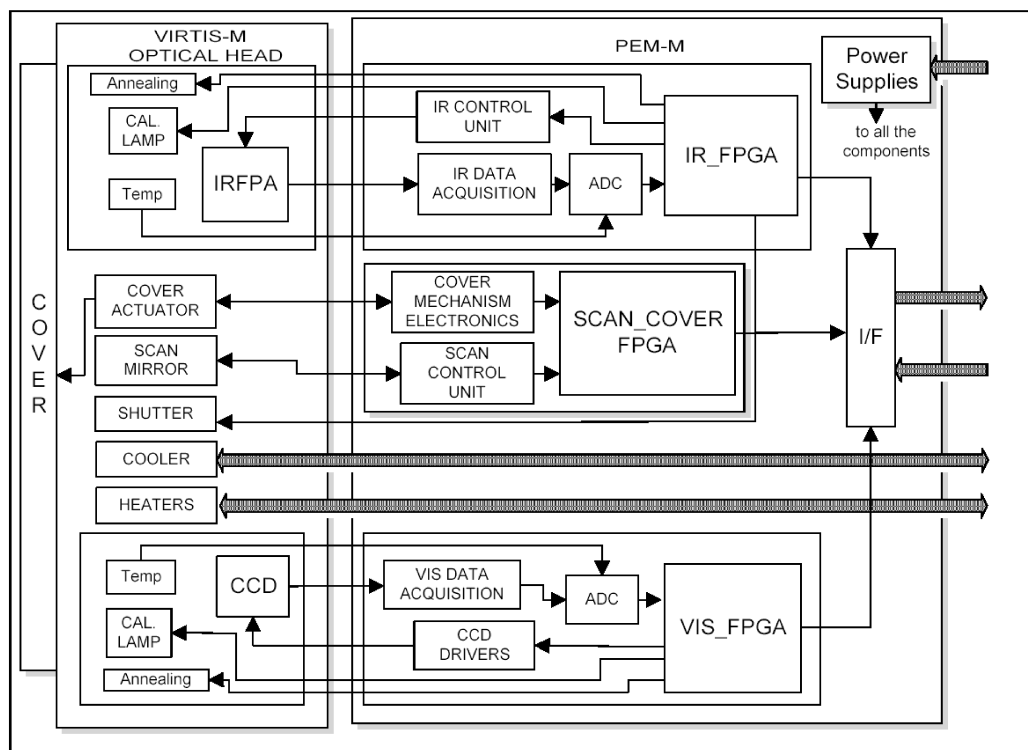


Figura 3.16: La PEM di Rosetta-VIRTIS (Galileo Avionica).

3.1.5 Software di bordo e modalità operative

Il software di bordo è adibito al funzionamento complessivo dello strumento ed all'elaborazione dei dati scientifici e di housekeeping. In particolare gestisce i seguenti task:

- ricezione, decodificazione e processamento dei pacchetti di telecomandi (TC) dal bus del satellite;
- esecuzione dei processi dei telecomandi e della telemetria;
- comando dei sottosistemi (moduli della PEM, cooler, cover);
- esecuzione dei processi di binning, composizione, decomposizione e compressione dei dati scientifici a seconda della modalità operativa scelta (vedi Tabella D.1);
- gestione dei pacchetti dei dati scientifici e di housekeeping e loro invio al bus del satellite attraverso il link ad alta velocità;
- mantenimento del software di bordo mediante lettura-scrittura del software e dei parametri salvati nelle memorie di bordo;
- verifica del funzionamento dello strumento e rilevazione di eventuali failure.

Oltre ai modi riportati in Tabella D.1 é possibile utilizzare anche la modalità *reduced slit* che consiste nell'acquisizione dei soli 64 samples posti sul centro della fenditura in alta risoluzione spaziale e spettrale: questo modo é particolarmente utile nelle osservazioni di oggetti poco estesi (il FOV si riduce di $1/3$ a 0.92°) in quanto viene ridotto di un fattore 3 il data-volume. Nel caso di binning (modalità nominali) il segnale dei pixel viene mediato all'interno della binning-box; poiché i piani focali acquisiscono ad ogni step da $250 \mu\text{rad}$ dello scanning mirror, per poter avere pixel spaziali quadrati si rende necessario mediare il segnale lungo la scansione (lines) di una pari quantità. Ad esempio nel modo nominale, in cui si ha un binning spaziale $\times 4$, la ME compie la seguente sequenza di operazioni: acquisizione del frame e media del segnale su una box di 4 samples; salvataggio del frame risultante nel buffer di memoria; spostamento dello scanning mirror di un angolo corrispondente ad un IFOV di $250 \mu\text{rad}$; ripetizione del processo di acquisizione, media e salvataggio per altre tre volte; media del segnale sulle quattro acquisizioni del singolo pixel binnato. La media del segnale del pixel lungo le lines viene comandata mediante il comando di summing: il processo permette di ottenere pixel di uguali dimensioni lungo le due direzioni spaziali (sample, line).

Software di bordo dello strumento

Il software di bordo é preposto al controllo dei diversi sottosistemi di bordo ed al comando dei modi di funzionamento dello strumento. In particolare svolge le seguenti funzioni:

- verifica e controllo dei telecomandi ricevuti dal satellite prima della loro esecuzione;
- gestione della procedura di accensione (start-up);
- inizializzazione dei diversi modi operativi scientifici;
- controllo dello stato di funzionamento dei sottosistemi, diagnosi degli errori (watch-dog);
- gestione e mantenimento dei parametri di configurazione del sistema;
- controllo dei piani focali VIS ed IR, unità di calibrazione interna, shutter, riscaldatori;
- gestione del motore dello specchio di scansione e del cover (compreso il meccanismo di apertura di emergenza);
- comando del sistema attivo di raffreddamento (cryocooler);
- acquisizione e verifica dei dati scientifici e di housekeeping.

In caso di malfunzionamento di un componente, il software comanda la procedura di safe-mode in cui tutti i sottosistemi vengono spenti; in questi casi é possibile diagnosticare il malfunzionamento ed inizializzare i processi mediante l'invio ed esecuzione di telecomandi ridotti. Il software di bordo é inoltre in grado di comandare i diversi modi scientifici di VIRTIS-M e -H che permettono di ridurre il data volume mediante il binning dei pixel ed il summing dei frame con conseguente degradazione delle risoluzioni spaziali e spettrali dello strumento. Nel software é inoltre inserito un algoritmo (lossless o lossy) di compressione dei dati che permette di ridurre il data volume di un fattore $2 \div 12$. Anche l'acquisizione della calibrazione interna, fondamentale per poter monitorare l'evoluzione temporale delle

performances dello strumento, viene comandata dal software di bordo e sarà descritta in dettaglio nella sezione 3.2.

Data Handling

La compressione dei dati ad opera del software di bordo é un'operazione necessaria per poter massimizzare il ritorno scientifico dell'esperimento. Su VIRTIS é possibile utilizzare algoritmi sia reversibili (lossless) che lossy a seconda del tipo di osservazione pianificata. L'algoritmo lossless, sviluppato all'IAS di Orsay, deriva dagli analoghi compressori usati per gli esperimenti Mars Express-Omega e Cassini-VIMS. Il codice usato sfrutta in fase di preprocessing le correlazioni spaziali e spettrali del dato scientifico; un algoritmo di Rice (trasformazioni wavelet), applicato sui residui calcolati, permette di raggiungere un fattore di compressione $2 \div 3$. Il compressore opera su subframes di dati da $128 \text{ samples} \times 128 \text{ bands}$ provenienti direttamente dal buffer di lettura dei piani focali; ad ogni subframe é associato un pacchetto di dati di telemetria ingegneristica. Il risultato della trasformazione viene codificata mediante un algoritmo Said-Perlman ottimizzato per essere eseguito sul processore TSC2120E di bordo ad alta velocità: in media si ha un flusso di circa 500 kbit/s. Da diversi test eseguiti finora risulta che con i livelli di compressione più elevati ($8 \div 12$) si ha una distorsione minore di 2 DN sul dato finale.

3.2 Dispositivi di calibrazione interna

Per poter monitorare le prestazioni spettroradiometriche dello strumento durante la missione é necessario poter acquisire il segnale di una sorgente calibrata. Per questo motivo all'interno di VIRTIS é stata aggiunta una modalità di calibrazione interna che consiste nell'acquisizione di una sequenza di 35 frames ottenuti con cinque diverse configurazioni strumentali (vedi Tabella 3.3). Operando sul cover, sullo shutter, sull'accensione delle lampade di calibrazione interna e sui tempi di esposizione é possibile misurare l'offset di readout, il background, la dark current ed acquisire il segnale di riferimento delle lampade spettrali sui due canali -VIS e -IR.

Fase	Frame #	Cover	Shutter	Lampada IR	Lampada VIS	texp VIS (s)	texp IR (s)
Offset elettronica	1 ÷ 5	Chiuso	Aperto	Spenta	Spenta	0.0	0.0
Background	6 ÷ 10	Chiuso	Aperto	Spenta	Spenta	20.0	0.5
Dark current	11 ÷ 15	Chiuso	Chiuso	Spenta	Spenta	20.0	0.5
Lampada IR	16 ÷ 20	Chiuso	Aperto	Accesa	Spenta	20.0	0.5
Lampada VIS	21 ÷ 25	Chiuso	Aperto	Spenta	Accesa	1.0	0.1
Dark current	26 ÷ 30	Chiuso	Chiuso	Spenta	Spenta	20.0	0.5
Background	31 ÷ 35	Chiuso	Aperto	Spenta	Spenta	20.0	0.5

Tabella 3.3: Sequenza delle 35 acquisizioni della calibrazione interna di VIRTIS-M.

Le due lampade di calibrazione sono state costruite specificatamente per soddisfare i requisiti scientifici di VIRTIS-M (Melchiorri et al., 2003). Sono costituite da un filamento di tungsteno (62 mm di lunghezza, $30 \mu\text{m}$ di diametro, 8 spire, resistenza di $\approx 4,5 \Omega$) alloggiato su un paraboloide concentratore in titanio. Le lampade hanno finestre ottiche in zaffiro di 28 mm

di diametro su cui sono posizionati dei filtri necessari per introdurre degli assorbimenti sullo spettro di corpo nero emesso dal filamento. In questo modo é possibile utilizzare il continuo per valutare la stabilità radiometrica e la posizione delle bande di assorbimento per verificare la calibrazione spettrale. I filtri impiegati sono l'olmio sulla lampada VIS ed il polistirene sulla lampada IR; nelle Tabelle 3.4 - 3.5 sono elencate le lunghezze d'onda delle principali bande di assorbimento impiegate per verificare la calibrazione spettrale.

Banda VIS #	λ (nm)	bands (flight)	bands (on ground)
1	333.74	47÷ 53	52÷58
2	360.83	61÷ 67	66÷72
3	385.90	74÷ 80	79÷85
4	418.55	92÷ 98	97÷103
5	445.85	106÷ 112	111÷117
6	453.49	110÷ 116	115÷121
7	459.94	113÷ 119	118÷124
8	484.22	126÷ 132	131÷137
9	536.29	154÷ 160	159÷165
10	637.54	207÷ 213	212÷218

Tabella 3.4: *Posizioni spettrali delle bande di assorbimento del filtro in olmio della lampada di calibrazione interna di VIRTIS-M-VIS.*

Banda IR #	λ (nm)	bands (flight)	bands (on ground)
1	2477	159÷165	160÷166
2	3244	240÷246	241÷247
3	3268	243÷249	244÷250
4	3305	248÷253	248÷254
5	3420	259÷265	260÷266
6	3509	268÷274	269÷275

Tabella 3.5: *Posizioni spettrali delle bande di assorbimento del filtro in polistirene della lampada di calibrazione interna di VIRTIS-M-IR.*

Le lampade sono alloggiate a lato dello specchio di scansione (Figura 3.19) e sono inclinate verso l'asse ottico del telescopio in maniera tale da illuminare in modo uniforme la superficie interna del cover; la parte centrale di quest'ultimo, corrispondente alla pupilla del canale -VIS (é la superficie coniugata del reticolo VIS) é nichelata per poter massimizzare il segnale riflesso; analogamente la parte esterna é dorata per massimizzare la luce IR riflessa (Figura 3.17). Le correnti di alimentazione, stabilizzate e monitorate durante le accensioni, sono impostate mediante telecomandi sui valori di 240, 250, 254 mA (minima, nominale, massima) e di 94, 100, 109 mA (minima, nominale, massima) rispettivamente per la lampada -VIS ed -IR: in questo modo é possibile ottimizzare il flusso fotonico sui due range spettrali. Come conseguenza ad occhio nudo é possibile osservare l'accensione della sola lampada -VIS (Figura 3.18). In sezione 4.7 saranno descritte le caratteristiche dei dati di calibrazione interna ottenuti durante i test a terra mentre in sezione 5.1 i risultati ottenuti in volo.

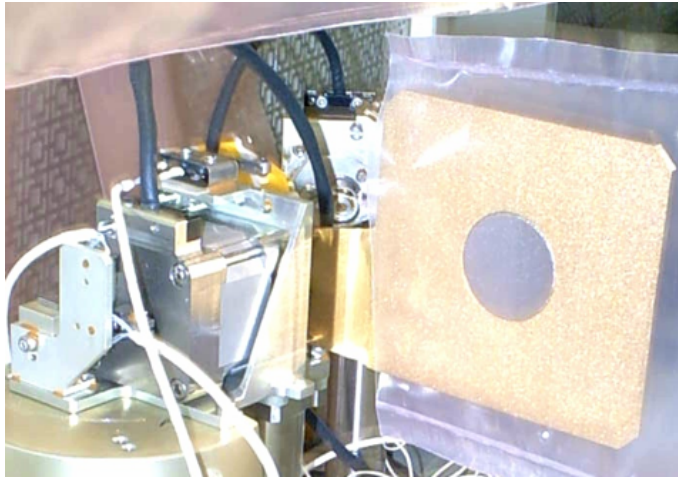


Figura 3.17: Configurazione del lato interno del cover di VIRTIS-M: la regione circolare centrale, corrispondente alla pupilla del canale -VIS é nichelata in modo da permettere un'ottimale riflessione della luce emessa della lampada di calibrazione interna -VIS; la regione esterna, in corrispondenza della pupilla -IR é invece dorata per massimizzare la riflessione della luce della lampada -IR (Galileo Avionica).

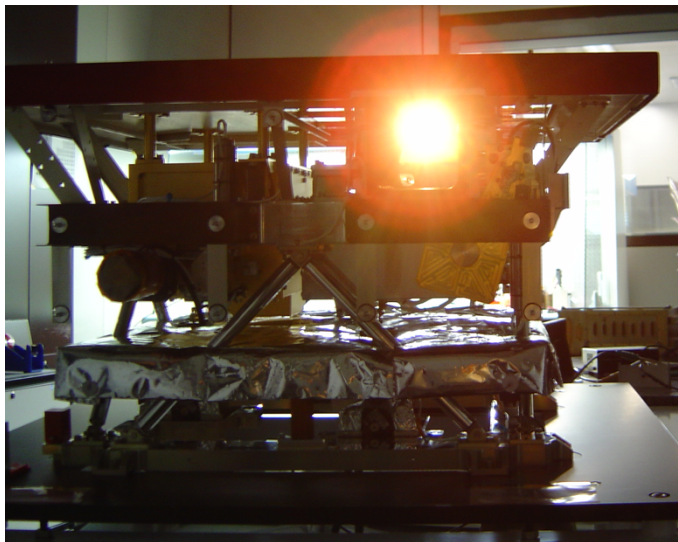


Figura 3.18: Test in camera pulita dell'accensione della lampada di calibrazione interna VIS a cover aperto (Galileo Avionica).



Figura 3.19: Le due lampade di calibrazione interna alloggiate all'interno del telescopio di VIRTIS-M al di sopra dello specchio di scansione. Il baffle di ingresso del fascio ottico ed il cover sono in basso, al di fuori dell'inquadratura. Si notino i passaggi per la luce delle lampade ricavati sui tre paraluce interni. Il telescopio viene chiuso, in alto, dal radiatore (rimosso) (Galileo Avionica).

3.3 Il cubo iperspettrale di VIRTIS-M

Il cubo iperspettrale di VIRTIS-M, codificato in formato PDS (Planetary Data System) possiede una struttura simile a quella di VIMS; é costituito da tre parti principali:

- *header*: preambolo del file scritto in formato ASCII contenente le informazioni generali della struttura del cubo ed i parametri osservativi e strumentali. Nelle appendici A.2 - A.3 sono riportati due esempi degli header dei canali -VIS ed -IR;
- *dati scientifici*: digitalizzati a 16 bit e salvati in formato binario in ordine BIP (Bands Interleaved by Pixels) ovvero secondo bands, samples, lines. Ai dati raw, corrispondenti ai conteggi dei piani focali viene sottratta automaticamente la dark current da parte della ME prima di essere salvati nel cubo. Per la descrizione dettagliata del dato scientifico si rimanda al paragrafo seguente;
- *parametri ingegneristici (housekeeping)*: si riferiscono a misure di grandezze strumentali (tensioni e correnti di alimentazione, temperature dell'ottica e dei piani focali, stato del cover, dello shutter, delle lampade di calibrazione, dello specchio di scansione e dei cryocooler) fatte durante le acquisizioni scientifiche; queste informazioni sono salvate in formato binario in un side plane del cubo PDS. In appendice A.4 é riportato il loro elenco completo.

I diversi modi operativi di VIRTIS-M, elencati in Tabella D.1, sono codificati mediante la keyword `INSTRUMENT_MODE_ID` all'interno dell'header file PDS secondo quanto riportato in Tabella 3.6.

Codice	Modo	Codice	Modo
1	M_Off	2	M_Cool_Down
3	M_Idle	4	M_Annealing
5	M_PEM_On	6	M_Test
7	M_Calibration	8	M_High_Spectral_1
9	M_Science_High_Spectral_2	10	M_Science_High_Spectral_3
11	M_Science_High_Spatial_1	12	M_Science_High_Spatial_2
13	M_Science_High_Spatial_3	14	M_Science_Nominal
15	M_Science_Nominal_2	16	M_Science_Nominal_3
17	M_Science_Nominal_Compressed	18	M_Science_Reduced_Slit
19	M_User_Defined	20	M_Degraded
63	M_ME_Test		

Tabella 3.6: Possibili valori della keyword `INSTRUMENT_MODE_ID` di VIRTIS-M.

3.3.1 Formato del dato scientifico

La parte più rilevante del cubo iperspettrale é sicuramente quella che contiene il dato scientifico. Questi dati sono generati come flussi (stream) di parole a 16 bit: ogni parola corrisponde ai DN forniti dal pixel. La PEM preposta alla lettura dei piani focali VIS ed IR acquisisce sempre il dato in modalità alta spaziale e spettrale: la degradazione delle risoluzioni secondo quanto riportato in Tabella D.1 avviene a livello della ME. Per quanto riguarda il piano focale

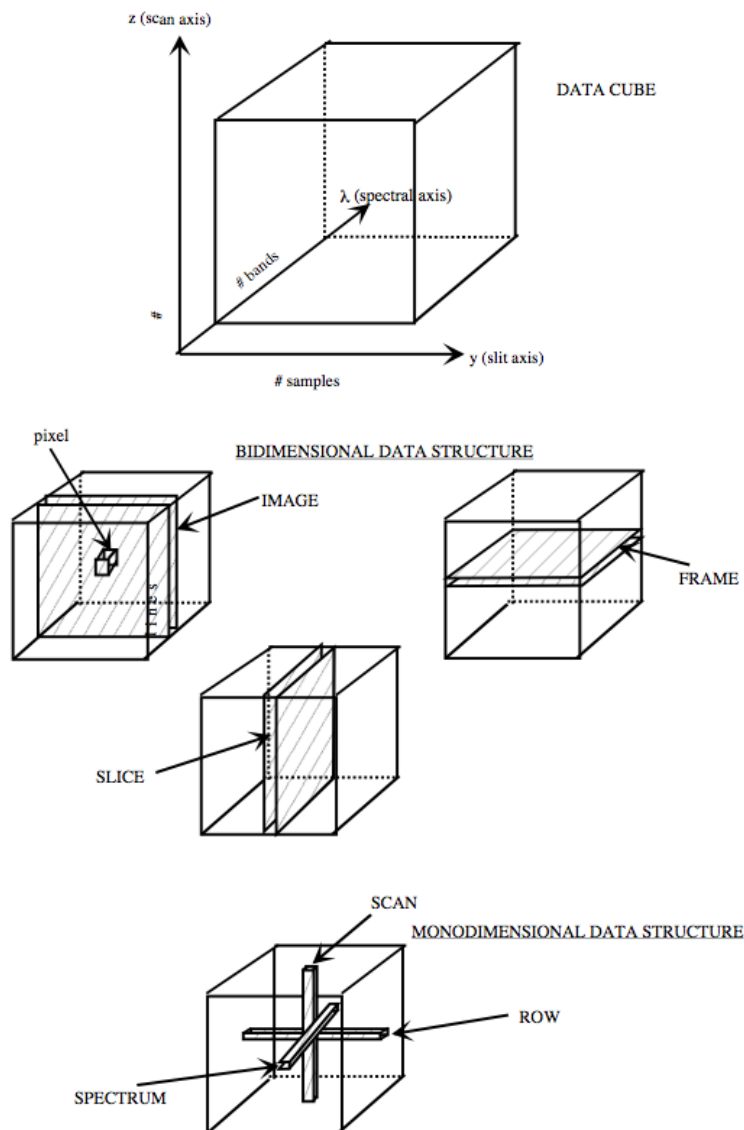


Figura 3.20: Definizione del cubo iperspettrale di Rosetta-VIRTIS-M. Alto: assi spaziali (sample, line) e spettrale (band). Centro: piani del frame, image e slice. Basso: vettori spettro, riga e scan.

VIS la PEM provvede al binning fisico di 2×2 pixel in modo tale da avere un pixel quadrato delle stesse dimensioni di quello del piano focale IR ($38 \mu\text{m}$). Poiché la lettura avviene lungo il lato più lungo della CCD, ovvero quello corrispondente all'asse delle bands, il flusso dei dati inizia sempre dal pixel di coordinate X_1, Y_1 per terminare al pixel in X_2, Y_2 (vedi Figura 3.7). I dati sono letti spettro dopo spettro a partire dal pixel X_1 all' X_2 sulla riga Y_1 per poi proseguire con lo stesso ordine fino alla riga Y_2 . Le coordinate $X_{1,2}$ si riferiscono rispettivamente all'estremo inferiore e superiore del range spettrale. La coordinata spaziale (sample) Y_1 del primo pixel è riferita all'estremo positivo del FOV ($+1.8^\circ$ dal boresight) mentre la

coordinata Y_2 corrisponde all'estremo negativo (-1.8°).

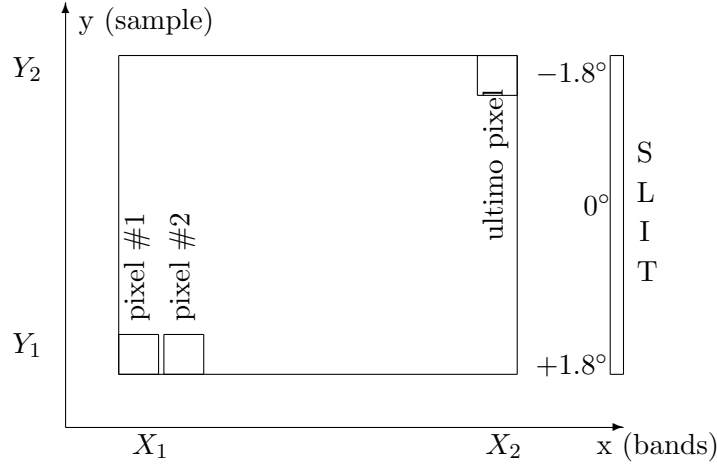


Tabella 3.7: Sequenza di lettura dei dati scientifici sui piani focali VIS ed IR di VIRTIS-M.

Tenendo conto delle caratteristiche costruttive dei piani focali risulta che sulla CCD si ha sempre $X_1 = 0$, $X_2 = 875$, $Y_1 = 0$ e $Y_2 = 511$ corrispondenti a 438×256 pixels dopo il binning compiuto dalla PEM; delle 438 colonne (bands) lette solo 432 vengono salvate nel cubo PDS. I 6 pixel scartati vengono in genere presi su uno dei due estremi mediante l'invio di opportuni telecomandi. Questo editing è necessario per rispondere ai requisiti del compressore dati che opera su blocchi di 16 word: con 432 elementi si hanno 27 blocchi interi da 16 word.

Per il piano focale IR si ha invece $X_1 = 0$, $X_2 = 437$, $Y_1 = 0$ e $Y_2 = 269$. Il primo e l'ultimo pixel di ciascuno spettro IR vengono letti pur non essendo attivi e quindi il range utile è compreso tra $1 \div 436$; anche in questo caso la ME provvede sia all'editing su 432 bands contigue che ai 256 samples centrali in modo da garantire il co-allineamento dei due canali: sul dato PDS infatti il boresight deve corrispondere al sample=127 sia sul -VIS che sull'-IR. La codifica del dato scientifico, così come avviene nell'elettronica di bordo, è riportata nelle tabelle 3.8-3.9. Ricordiamo che mentre il dato del canale -VIS è codificato su una scala dinamica a 16 bit crescente, quello del canale -IR segue una scala decrescente. In sede di conversione del dato in formato PDS, l'EGSE provvede anche all'inversione della scala dinamica del canale -IR.

<i>Codifica del dato</i>	16 bit unsigned	min=0 ADU, max=65535 ADU, scala crescente
<i>Range dinamico</i>	16384 ÷ 65535 ADU	punto di zero= 16384 ADU
<i>Offset</i>	16372 ADU	
<i>Saturazione</i>	63500 ADU	
<i>Dark current</i>	0.1966 ADU/s	6.7945 e^-/s @165 K
<i>Readout noise</i>	2 ADU	CCD+PEM

Tabella 3.8: Parametri di codificazione del segnale di VIRTIS-M-VIS.

<i>Codifica del dato</i>	16 bit unsigned	min=65535 ADU, max=0 ADU, scala decrescente
<i>Range dinamico teorico</i>	65535 ÷ 0 ADU	punto di zero= 65535 ADU
<i>Range dinamico effettivo</i>	61000 ÷ 7500 ADU	punto di zero= 61000 ADU
<i>Offset</i>	tipico: 51000 ADU	minimo: 61000 ADU
<i>Saturazione</i>	7500 ADU	
<i>Dark current @70-90-100 K</i>	75-169-1032 ADU/s	0.8-1.8-11 fA
<i>Fixed pattern noise</i>	1.5-2 ADU	IRFPA+PEM

Tabella 3.9: Parametri di codificazione del segnale di VIRTIS-M-IR. Il valore dell'offset dipende dalla tensione di lettura applicata al detector (3.2V nel caso tipico e 4.0V nel caso minimo). Il rumore di background é funzione della lunghezza d'onda e della $\sqrt{t_{exp}}$.

3.4 La missione Rosetta e gli obiettivi scientifici di VIRTIS

3.4.1 Rosetta

La missione Rosetta dell'ESA (European Space Agency) é dedicata all'osservazione della cometa 67P Churyumov-Gerasimenko; é costituita da un'orbiter per le osservazioni in remoto del nucleo e della chioma cometaria e da un lander, Philae, che sarà rilasciato sulla superficie del nucleo. Per poter garantire un elevato ritorno scientifico la missione é stata progettata con stringenti requisiti tecnologici: l'orbiter deve infatti ospitare un carico utile di 11 diversi strumenti scientifici; gli strumenti di remote sensing devono poter essere puntati continuamente verso la cometa durante tutte le fasi osservative; l'intero satellite deve poter essere ibernato durante la pluriennale fase di cruise necessaria a raggiungere la cometa; il sistema di controllo di assetto e di navigazione deve poter gestire autonomamente il satellite durante la fase di avvicinamento al nucleo ossia in un campo gravitazionale debole, rotante ed asimmetrico ed in presenza di getti di gas e polveri.

Questi requisiti primari hanno portato alla realizzazione di un satellite avente un elevato grado di complessità nei sottosistemi di bordo:

- controllo termico: il satellite deve poter sopravvivere ad elevate escursioni termiche, dalla fredda fase di cruise al più caldo passaggio nella chioma della cometa;
- navigazione: il satellite deve poter fare un tracking automatico sul nucleo durante l'avvicinamento senza il controllo da terra; la dinamica del satellite infatti é troppo rapida per poterne permettere il controllo in remoto delle operazioni a bordo;
- controllo di assetto: si devono garantire velocità relative dell'ordine del mm/s rispetto al nucleo per il rilascio del lander Philae;
- massa: circa 2900 kg (50% di propellente) limitata dalle capacità di lancio dell'Ariane-5 su orbita eliocentrica;
- lifetime: oltre 11 anni di missione; durante le lunghe fasi di cruise gran parte dei sottosistemi elettrici di bordo sono ibernati per poterne preservare l'efficienza;
- sicurezza passiva: gran parte dei sottosistemi fondamentali di bordo sono ridondati con unità di backup pronte ad entrare immediatamente in azione;

- sistema di potenza: Rosetta sarà il primo satellite ad operare oltre l'orbita di Marte utilizzando soltanto pannelli solari (l'ESA non può impiegare RTG per statuto);
- comunicazioni: gli strumenti di bordo saranno tutti accesi durante la fase di massimo avvicinamento al nucleo e quindi il sistema di comunicazione deve essere in grado di gestire un elevato picco di data volume in un limitato intervallo temporale.

Il satellite ha una struttura centrale cubica di $2.8 \times 2.1 \times 2.0$ m in cui sono alloggiati il payload scientifico ed i sottosistemi di bordo. I due pannelli solari, ciascuno lungo 14 m, forniscono un'area utile di 64 m^2 . Il satellite è suddiviso in un Payload Support Module (PSM) in cui sono collocati gli strumenti scientifici ed un Bus Support Module (BSM) con i sottosistemi di bordo. Il lander è collocato sul lato opposto dell'antenna ad alto guadagno (orientabile su due assi); il disegno del satellite consente agli strumenti di puntare la cometa mentre i pannelli solari sono rivolti verso il Sole e l'antenna principale verso la Terra; i lati del satellite rivolti verso il fondo cielo sono occupati dai radiatori, in una posizione poco raggiungibile dalla polvere e gas cometari durante il close-encounter.

Le diverse fasi della missione Rosetta sono riportate in Tabella 3.10

Evento	Data
Lancio	2 marzo 2004
1° gravity assist con la Terra	Marzo 2005
Gravity assist con Marte	Febbraio 2007
2° gravity assist con la Terra	Novembre 2007
3° gravity assist con la Terra	Novembre 2009
Manovra di rendezvous	Maggio 2014
Mappatura globale del nucleo	Agosto 2014
Rilascio del lander	Novembre 2014
Passaggio al perielio	Agosto 2015
Termine della missione	Dicembre 2015

Tabella 3.10: *Le fasi della missione Rosetta.*

3.4.2 Obiettivi scientifici di VIRTIS

Gli obiettivi scientifici primari di VIRTIS sono:

- lo studio del nucleo cometario e del suo ambiente;
- identificazione dei ghiacci e delle polveri che costituiscono il nucleo della cometa;
- misura della temperatura superficiale del nucleo;
- identificazione delle specie gassose;
- caratterizzazione delle condizioni fisiche della chioma;

Oltre a questi obiettivi VIRTIS fornirà supporto nella selezione del sito di atterraggio del lander Philae che compierà misure chimiche-fisiche sulla superficie del nucleo.

3.4.3 Collocazione di VIRTIS su Rosetta

VIRTIS, assieme agli altri strumenti di remote sensing, é alloggiato all'interno di una cold box, raffreddata a 130 K, posta nel PSM del satellite. Le scatole dell'elettronica (PEM) ed i cryocooler sono a contatto con la cold box interna; la scatola della Main Electronics é invece montata all'interno del satellite. VIRTIS é coallineato insieme agli altri strumenti di imaging e rivolto verso il lato nadir-pointing del satellite (vedi Figura 3.21).

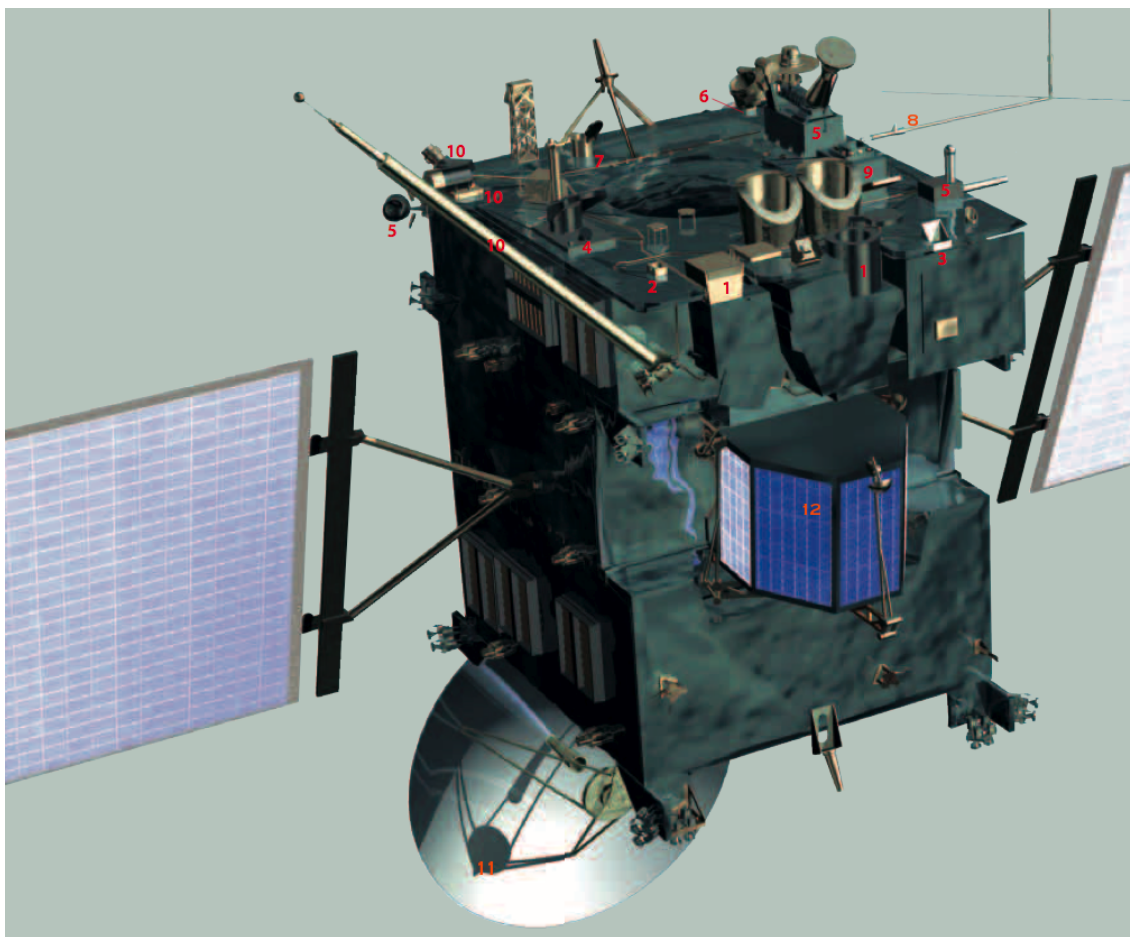


Figura 3.21: Il payload scientifico sul satellite Rosetta: 1. OSIRIS (Optical, Spectroscopic and Infrared Remote Imaging System); 2. ALICE (UV Imaging Spectrometer); 3. VIRTIS (Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer); 4. MIRO (microwave Instrument for the Rosetta Orbiter); 5. ROSINA (Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis); 6. COSIMA (Cometary Secondary Ion Mass Analyser); 7. MIDAS (Micro-Imaging Dust Analysis System); 8. CONSERT (Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission); 9. GIADA (Grain Impact Analyser and Dust Accumulator); 10. RPC (Rosetta Plasma Consortium); 11. RSI (Radio Science Investigation); 12. Lander Philae (ESA).

Calibrazione di VIRTIS-M

Only what can be measured can be improved.

All'interno di questo capitolo, dopo una breve descrizione del setup di calibrazione, sono contenuti i principali risultati delle attività di calibrazione ottenuti durante lo svolgimento della tesi e riguardanti:

- calibrazione spettrale, in sezione 4.2;
- calibrazione geometrica, in sezione 4.3;
- calibrazione spaziale, in sezione 4.4;
- considerazioni sulle limitazioni spettroradiometriche del canale -VIS, in sezione 4.5;
- calibrazione radiometrica, in sezione 4.6;
- calibrazione interna, in sezione 4.7;

La calibrazione completa delle due teste ottiche di VIRTIS é avvenuta presso i laboratori della Galileo Avionica (-M) e dell'Osservatorio di Parigi, Meudon (-H). Lo strumento integrato di tutti i sottosistemi e dell'Elettronica Principale (DHSU) é stato infine testato allo IAS di Orsay. I setup di calibrazione usati per testare il modello integrato sono discussi in Bonello et al. (2005). Lo scopo di realizzare delle calibrazioni separate a livello di teste ottiche é stato quello di caratterizzare i singoli componenti mentre l'attività sullo strumento integrato ha riguardato essenzialmente i coallineamenti delle ottiche, il data handling e la verifica della stabilità termica. In questa tesi saranno prese in considerazione soprattutto le attività svolte in Galileo Avionica sul canale -M al fine di misurarne le prestazioni spettrali, geometriche, spaziali e radiometriche. Nella derivazione della risposta radiometrica del canale IR saranno

utilizzate alcune misure acquisite durante i test effettuati all'IAS di Orsay con lo strumento integrato.

4.1 Il setup di calibrazione

Il setup di base usato per le calibrazioni di VIRTIS-M in Galileo Avionica (vedi Figure 4.1 - 4.3) consiste fondamentalmente in un banco ottico su cui sono alloggiati un target di riferimento (spaziale e/o spettrale) posto al piano focale di un collimatore (off axis parabola) ed un folding mirror usato per orientare il fascio ottico collimato verso VIRTIS-M e movimentarlo lungo le direzioni azimuthale e verticale.

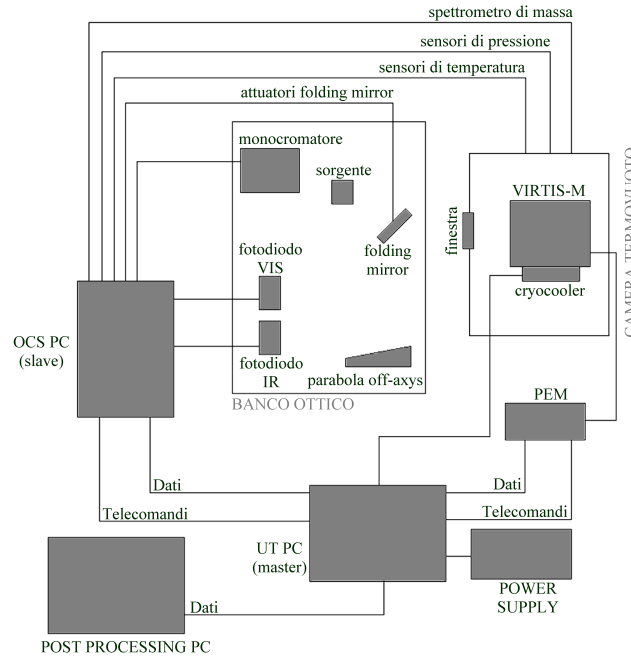


Figura 4.1: Diagramma a blocchi del setup utilizzato per la calibrazione di VIRTIS-M presso la Galileo Avionica.

Poiché gli spettrometri ad immagine hanno il fuoco all'infinito si rende necessario utilizzare un collimatore per avere un fascio ottico di input a raggi paralleli. Il collimatore utilizzato durante le calibrazioni a terra è stato ottimizzato per essere impiegato congiuntamente con lo spettrometro; l'ottica si basa su una parabola off-axis ($D=250$ mm, $F=1020$ mm, angolo di off axis 8°) che garantisce un fascio non ostruito, ridotte aberrazioni ed un'elevata scala spaziale. Mediante l'accoppiamento a VIRTIS-M si ottiene un rapporto di ingrandimento di.

$$MR = \frac{F_{VIRTIS-M}}{F_{Collimatore}} = \frac{152}{1020} = 0.152 \quad (4.1)$$

Un oggetto di dimensione D appare quindi sul piano focale di VIRTIS-M di dimensioni $D \cdot MR$; ad esempio ad un target avente $D=1$ cm corrisponde un'immagine di 0.152 cm (estesa quindi 40 sample essendo il lato del pixel pari a $38 \mu\text{m}$). Al piano focale del collimatore possono

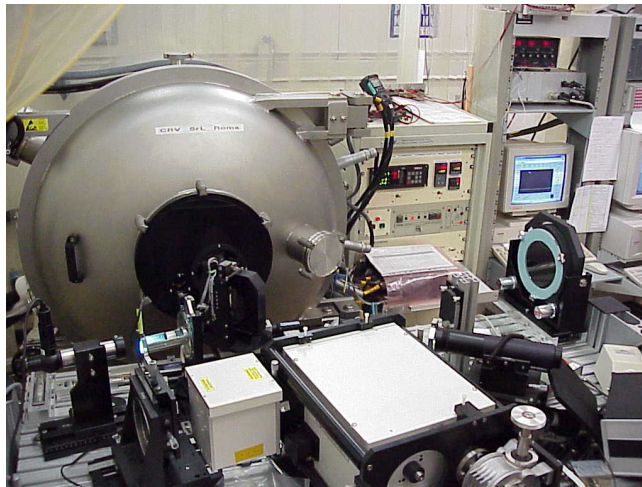


Figura 4.2: Il laboratorio contenente la camera a termovuoto presso la Galileo Avionica nella configurazione di calibrazione. Oltre al termovuoto (chiuso) è visibile in basso il banco ottico e sullo sfondo il pannello di controllo del termovuoto e l'UT.

essere collocati diversi target intercambiabili (pinholes, fenditure di test, maschere MTF, diffusori) e sorgenti (lampade spettrali, lampade a luce bianca, monocromatore, matrice di 5x5 microlampade, corpo nero); ciascuno di questi elementi viene usato per uno specifico tipo di calibrazione. Il fascio in uscita dal collimatore viene ripiegato a 90° verso lo spettrometro da un folding mirror alloggiato su una montatura motorizzata sugli assi azimuthale e verticale ed asservita ad un PC (OCS, Optical Control System) dedicato al controllo degli elementi optoelettronici posti sul banco. Mediante questo sistema è possibile posizionare e movimentare il folding mirror a step di $1 \mu\text{rad}$ lungo gli assi azimuthale (scansione parallela alla fenditura di VIRTIS-M, asse sample) e verticale (scansione perpendicolare alla fenditura, asse lines). Per poter riprodurre le stesse condizioni ambientali operative del satellite lo spettrometro è alloggiato all'interno di una camera a termovuoto (Figura 4.3); in questo modo è possibile riprodurre un vuoto di circa 10^{-7} mbar e di raffreddare il radiatore a circa 135 K. In queste condizioni, grazie al cryocooler interno, operante su un ciclo termodinamico Stirling e collegato con una thermal-strap all'IRFPA, è possibile raffreddare il piano focale IR alla temperatura operativa di circa 70 K. La temperatura operativa del piano focale VIS è di circa 160 K.

Il fascio ottico proveniente dal collimatore raggiunge la pupilla dello spettrometro attraverso una finestra in CaF_2 alloggiata sullo sportello della camera a termovuoto. Questa finestra è caratterizzata da un'elevata trasmittanza ottica nel range spettrale 250-5100 nm. Le superfici interna ed esterna della finestra sono leggermente convergenti (di circa 6 arcmin) per evitare riflessioni speculari all'interno della finestra e la conseguente comparsa di ghost-images. La finestra ottica possiede quindi sezione trapezoidale (a cuneo).

Tutti gli elementi optomeccanici del banco sono asserviti al controllo dell'OCS che provvede alla loro gestione durante le misure; VIRTIS-M è controllato da un setup elettrico separato basato su di un'UT (Unit Tester, composto da un PC con software dedicato all'invio di comandi ed alla ricezione di telemetria e dati dalla testa ottica e da un modulo di alimentazione,

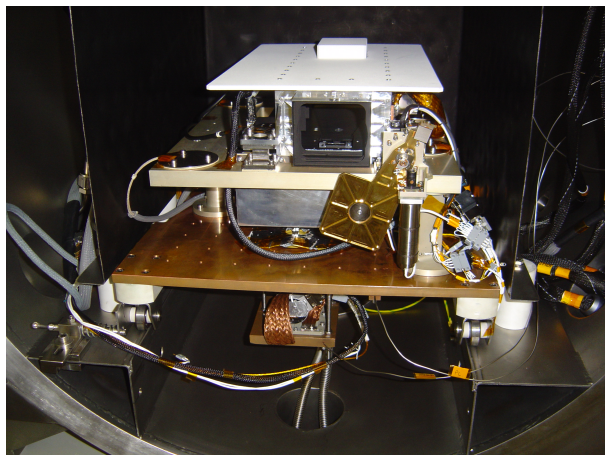


Figura 4.3: *VIRTIS-M* alloggiato nella camera a termovuoto (aperta) presso la Galileo Avionica nella configurazione di calibrazione. E' visibile in alto il radiatore, al centro il baffle ed il cover (aperto) ed in basso il cryocooler.

vedi Figura 4.4) connesso all'esperimento attraverso il Modulo di Elettronica di Prossimità (PEM). Il sistema, basato sull'impiego simultaneo di un sistema master (UT) ed uno slave (OCS) permette di acquisire i dati dello spettrometro solo quando tutti gli elementi posti sul banco ottico sono stati correttamente configurati dall'OCS.

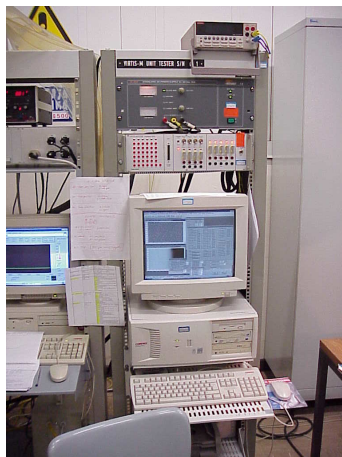


Figura 4.4: Lo Unit Tester (UT), usato durante le calibrazioni di *VIRTIS-M*, è composto da un PC interfacciato alla PEM e da un power supply. Mediante questo setup è possibile inviare telecomandi allo strumento alloggiato nel termovuoto e riceverne i dati scientifici ed ingegneristici (housekeeping) (Galileo Avionica).

4.2 Calibrazione spettrale

La calibrazione spettrale riguarda un aspetto fondamentale delle prestazioni di uno spettrometro ad immagine, ossia la conversione dell'indice di banda lungo l'asse di dispersione spettrale in unità di lunghezze d'onda (Grum & Becherer, 1979), (Thorne et al., 1999). Queste misure sono state condotte attraverso i passi seguenti:

- caratterizzazione delle prestazioni spettrali del monocromatore usato come sorgente di riferimento spettrale; questo controllo preliminare è stato fatto verificando la risposta del monocromatore sulle righe di emissione di riferimento di una lampada ai vapori di Hg;
- impiego del monocromatore come sorgente ed acquisizione della risposta da parte di VIRTIS-M (vedi Figura 4.5): a certe lunghezze d'onda sono state compiute delle scansioni spettrali con un passo di campionamento spettrale inferiore a quello di VIRTIS-M in modo da misurarne la risposta;
- fit gaussiano su queste risposte spettrali per ricavare i parametri del canale spettrale;
- estensione dei risultati su tutte i canali spettrali mediante fit lineare.

Dalle misure di calibrazione spettrale vengono dedotti i seguenti parametri strumentali:

- la lunghezza d'onda centrale della band, λ_c (nm), corrispondente al centroide della funzione di risposta spettrale;
- il range spettrale, ovvero l'intervallo spettrale compreso tra la massima e minima lunghezza d'onda a cui è sensibile lo spettrometro;
- l'intervallo di campionamento spettrale, SSI (nm), ovvero la differenza tra le lunghezze d'onda centrali tra due band adiacenti.

Poiché VIRTIS-M impiega un grating olografico per disperdere la luce diffratta dalla fenditura lungo la direzione spettrale si deve imporre una relazione lineare tra le posizioni spettrali (b , band) e le corrispondenti lunghezze d'onda λ_c (nm):

$$\lambda_c(b) = \lambda_0 + SSI(b) \cdot b \quad (4.2)$$

Tenendo conto delle proprietà generali del disegno ottico si può assumere che $SSI(b)=SSI$ e che sia costante lungo l'intero range spettrale. Per poter ricavare questi parametri la seguente metodologia è stata applicata: il range spettrale dei due canali VIS ed IR è stato suddiviso in tre regioni su cui valutare la risposta spettrale; nel VIS sono state utilizzati intervalli spettrali centrati attorno 400, 550 e 1000 nm; nell'IR a 1010, 3000 e 5000 nm. Su ciascun intervallo sono state compiute delle scansioni utilizzando step spettrali del monocromatore (0.4 nm nel VIS e 1.0 nm nell'IR) inferiori alla risoluzione spettrale strumentale al fine di campionare il segnale con la massima risoluzione possibile. In Tabella 4.1 sono riportati i parametri sperimentali delle 6 acquisizioni di calibrazione spettrale VIS ed IR.

Sulla colonna sinistra delle Figure 4.6 - 4.7 si riportano le immagini RGB dei frames -VIS ed -IR acquisiti in corrispondenza dell'inizio (rappresentato in banda B), centro (G) e fine

<i>Intervallo scan spettrale</i>	(VIS) 394.0÷406.4 nm	(VIS) 544.0÷556.4 nm	(VIS) 994.0÷1006.4 nm
<i>Sorgente monocromatore</i>	lampada QTH	lampada QTH	lampada QTH
<i>Num. step - passo</i>	31 - 0.4 nm	31 - 0.4 nm	31 - 0.4 nm
<i>Intervallo utile (sample)</i>	$100 \leq s \leq 154$	$100 \leq s \leq 154$	$104 \leq s \leq 158$
<i>Intervallo utile (bands)</i>	$93 \leq b \leq 96$	$172 \leq b \leq 176$	$412 \leq b \leq 415$
<i>Intervallo scan spettrale</i>	(IR) 970.0÷1032.0 nm	(IR) 2970.0÷3032.0 nm	(IR) 4920.0÷5050.0 nm
<i>Sorgente monocromatore</i>	lampada QTH	elemento SiC	elemento SiC
<i>Num. step - passo</i>	31 - 2.0 nm	31 - 2.0 nm	65 - 2.0 nm
<i>Intervallo utile (sample)</i>	$108 \leq s \leq 166$	$108 \leq s \leq 166$	$108 \leq s \leq 164$
<i>Intervallo utile (bands)</i>	$1 \leq b \leq 3$	$212 \leq b \leq 215$	$418 \leq b \leq 428$

Tabella 4.1: Parametri delle misure della calibrazione spettrale. Per i tre scan spettrali del VIS e dell'IR sono riportati: la sorgente del monocromatore; il numero di step e la larghezza spettrale del segnale del monocromatore; la regione del piano focale (sample, bands) interessata alla scansione del monocromatore.



Figura 4.5: Il setup della calibrazione spettrale di VIRTIS-M: 1) sorgente del monocromatore (lampada QTH per il VIS ed elemento SiC per l'IR); 2) monocromatore; 3) fenditura di uscita del monocromatore; 4) fenditura di test posta al fuoco del collimatore ed orientata parallelamente a quella di VIRTIS-M (orizzontale). Questa fenditura viene illuminata dal monocromatore mediante un sistema di specchi di ripiegamento (non visibili nella foto); 5) folding mirror.

scansione (R) del monocromatore sugli intervalli -VIS (400, 550, 1010 nm) ed -IR (1000, 3000, 5000 nm). Il gruppo delle tre righe più intense blu, verde e rossa rappresenta il segnale monocromatico impiegato per la determinazione della risposta spettrale dello strumento. I

-VIS		
band	$\langle A_1 \rangle = \lambda(\text{band})$ [nm]	$\langle A_2 \rangle = \sigma(\text{band})$ [nm]
93	397.031	2.066
94	398.925	1.997
95	400.801	1.996
96	402.662	2.044
172	546.025	1.942
173	547.880	1.907
174	549.782	1.929
175	551.643	1.935
176	553.547	1.877
412	997.873	2.303
413	999.773	2.329
414	1001.656	2.327
415	1003.523	2.242

Tabella 4.2: Parametri della calibrazione spettrale visibile: lunghezza d'onda centrale e sigma media lungo l'asse della fenditura per la scansione del monocromatore nel range VIS.

gruppi di righe più deboli che si osservano sono gli ordini superiori generati dal reticolo del monocromatore. Sulla colonna destra sono riportati i corrispondenti profili (gaussiani) del segnale misurato durante la scansione lungo l'asse spettrale.

Il generico pixel del piano focale illuminato dal segnale del monocromatore durante lo scan fornisce un segnale uguale alla convoluzione delle risposte spettrali del monocromatore e del setup. In generale la forma di questo segnale può essere parametrizzata con una curva gaussiana. Il segnale misurato da ciascun pixel sollecitato dalla scansione del monocromatore è stato modellizzato mediante un fit gaussiano a sei componenti:

$$f(x) = A_0 e^{-\frac{(x-A_1)^2}{2A_2^2}} + A_3 + A_4x + A_5x^2 \quad (4.3)$$

Nelle Tabelle D.2 - D.9 sono riportati i tre parametri fondamentali risultanti dai fit, ossia l'altezza della gaussiana (A_0) proporzionale al massimo del segnale misurato, la posizione spettrale del picco (A_1) in nm e la sua sigma (A_2). Ricordiamo che la FWHM della curva è pari a $2.35 A_2$ (nm). I fit sono stati ripetuti su ciascun pixel sollecitato dalla luce emessa dal monocromatore durante le tre scansioni VIS e le tre IR come specificato in Tabella 4.1. Nelle tabelle contenenti i risultati dei fit è possibile notare alcuni effetti significativi che intervengono nella misura: innanzitutto come la fenditura del monocromatore sia illuminata in maniera disomogenea (ai bassi sample A_0 è sempre maggiore) e come questo influenzi la determinazione della sigma (A_2) più che il centro della gaussiana (A_1); in corrispondenza dell'estremo inferiore della fenditura del monocromatore si ottengono delle sigma di poco inferiori rispetto a quelle misurate sull'estremo superiore.

Poiché la fenditura del monocromatore non è uniformemente illuminata (a causa dei limiti costruttivi intrinseci dello strumento e della sua sorgente) si è preferito utilizzare il valor medio dei parametri A_1 , A_2 lungo tutti i samples illuminati: nelle Tabelle 4.2 - 4.3 sono tabulati i valori medi risultanti.

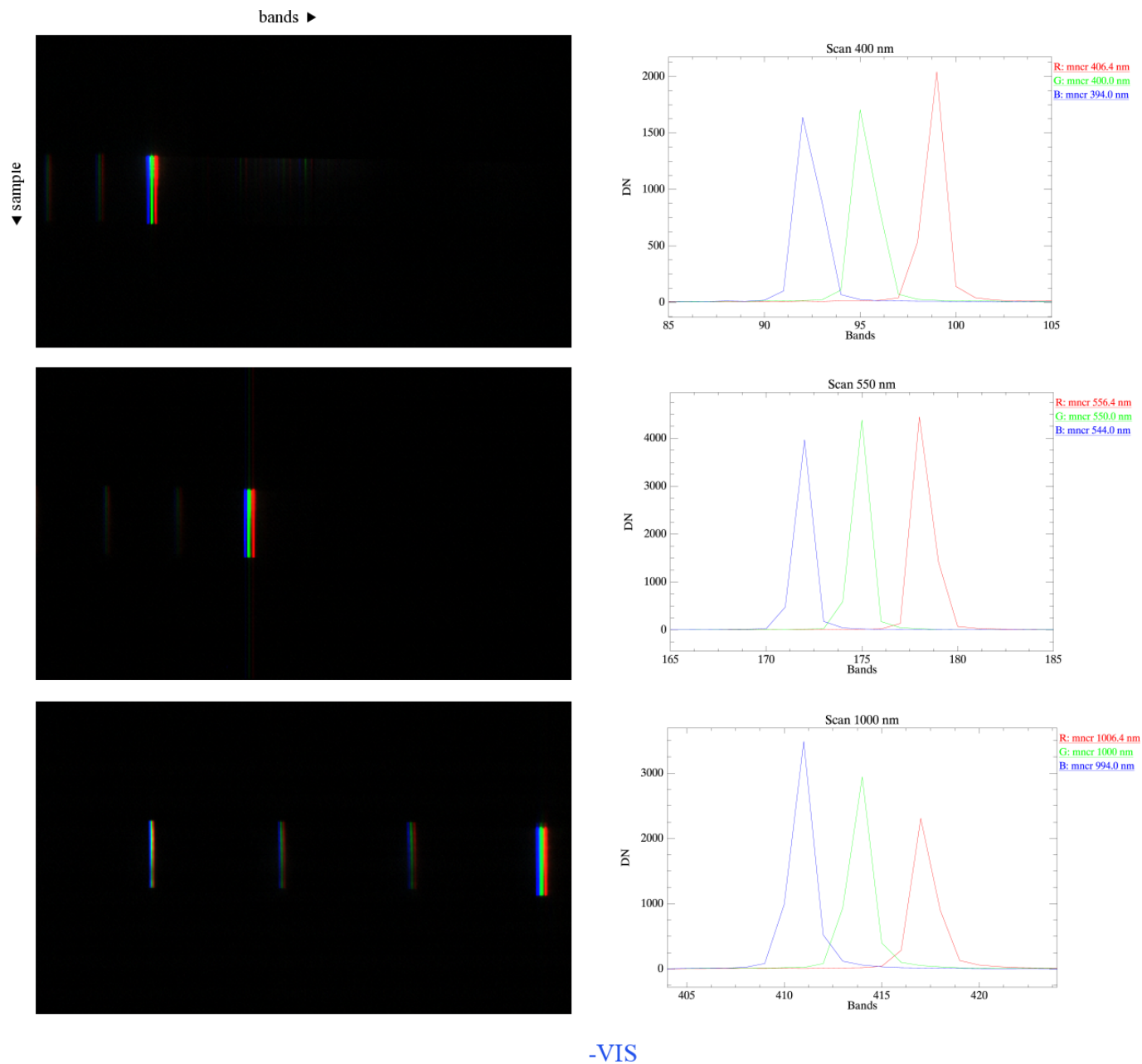


Figura 4.6: Il segnale del monocromatore durante le scansioni attorno a 400 (alto), 550 (centro) e 1010 nm (basso) utilizzate per la determinazione della calibrazione spettrale di VIRTIS-M-VIS. Sinistra: immagini RGB dei frames con l'evoluzione spettrale del segnale ad inizio (B), centro (G) e fine scansione (R). Si notino gli ordini superiori del reticolo del monocromatore che generano diversi gruppi di segnali spuri sul piano focale. Destra: plot del segnale al sample=128 sulle tre posizioni di inizio (B), centro (G) e fine scansione (R).

Durante le misure di calibrazione si é ripetutamente misurato anche il segnale emesso da una lampada spettrale ai vapori di mercurio che presenta delle intense righe di emissione centrate

-IR		
band	$\langle A_1 \rangle = \lambda(\text{band})$ [nm]	$\langle A_2 \rangle = \sigma(\text{band})$ [nm]
1	999.351	5.416
2	1008.50	13.4849
3	1024.01	9.03207
212	2991.77	11.3060
213	3001.03	11.6274
214	3009.57	11.3451
215	3018.07	11.6639
418	4935.59	13.1813
419	4945.00	12.9602
420	4954.18	14.6020
421	4964.27	12.8440
422	4973.25	13.5711
423	4982.83	13.7344
424	4992.13	13.5309
425	5001.57	13.9207
426	5010.55	12.3311
427	5018.98	14.6456
428	5030.28	13.4318

Tabella 4.3: Parametri della calibrazione spettrale infrarossa: lunghezza d'onda centrale e sigma media lungo l'asse della fenditura per la scansione del monocromatore nel range IR.

alle lunghezze d'onda di 365.50, 404.65, 435.83, 546.07 nm nel -VIS e di 1013.97, 1128.74, 1529.58 nm nel -IR¹. I baricentri spettrali medi di queste righe sono stati determinati sempre utilizzando un fit gaussiano applicato su diverse acquisizioni; in Tabella 4.4 ne sono tabulate le posizioni.

Applicando un best fit lineare sui punti sperimentali riportati nelle tabelle 4.2, 4.3, 4.4 si ricavano i parametri della calibrazione spettrale di VIRTIS-M; in Figura 4.8 sono graficate le due rette di best fit sui punti di misura i cui coefficienti angolari corrispondono all'intervallo

¹Questa sorgente é stata ad esempio utilizzata per la misura delle funzioni di pixel e di fenditura (sezione 4.3.1).

riga (nm)	$\langle \text{band} \rangle$	canale
365.50*	76.5644	-VIS
404.65	97.4683	-VIS
435.83	113.996	-VIS
546.07	172.434	-VIS
1013.97	1.50723	-IR
1128.74	13.7135	-IR
1529.58	56.3924	-IR

Tabella 4.4: Posizioni spettrali delle righe di emissione della lampada spettrale al mercurio sui piani focali di VIRTIS-M. La riga a 365.50 nm (*) é un doppietto non risolto dal canale -VIS.

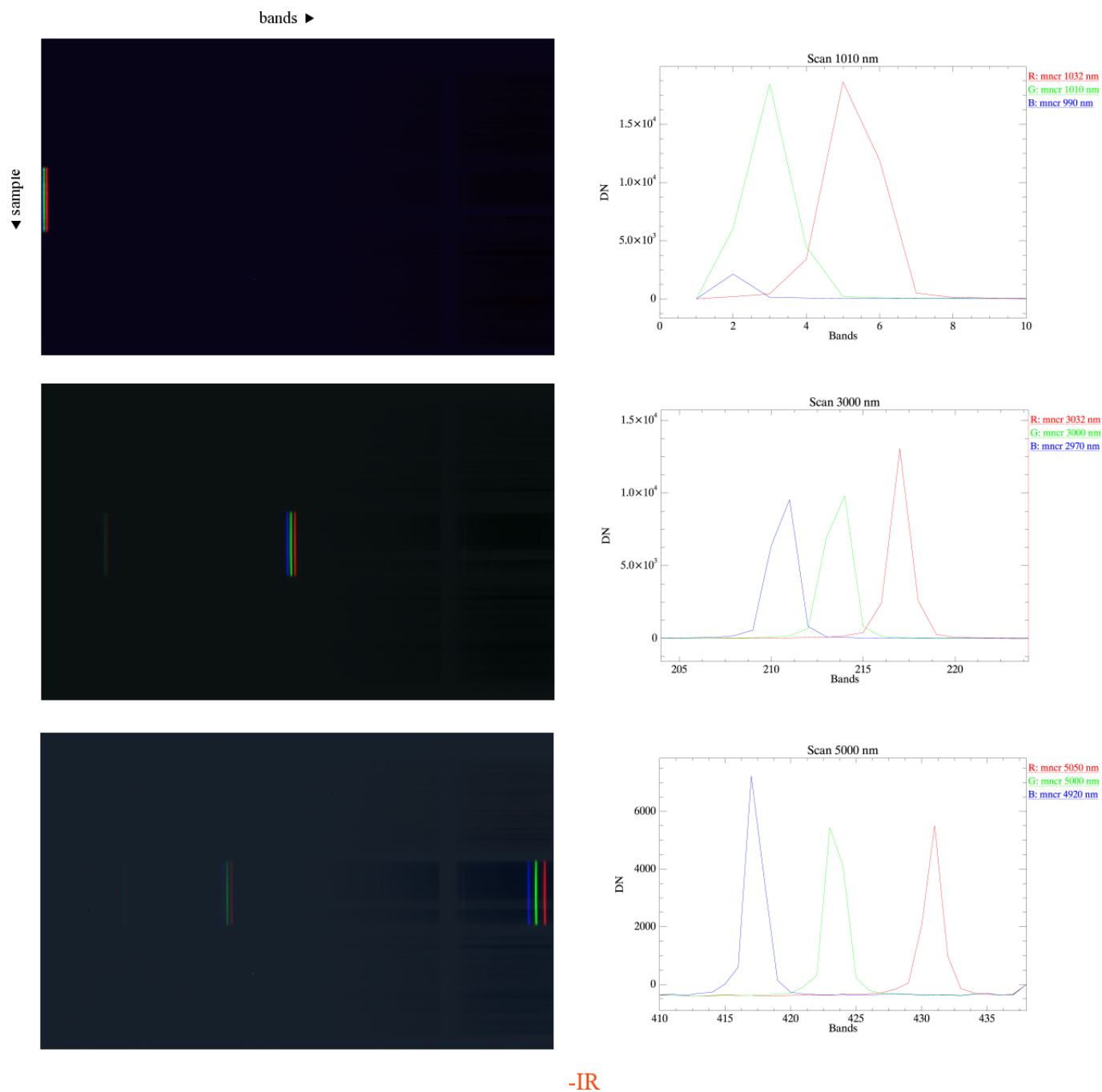
di campionamento spettrale (SSI) e le cui intercette sono pari alla lunghezza d'onda iniziale dello spettrometro $\lambda_c(b=0)$.

Durante le misure di calibrazione a terra i due piani focali VIS ed IR sono stati acquisiti nella loro interezza ($438 \text{ bands} \times 270 \text{ samples}$) mentre lo strumento in volo utilizza una regione minore di $432 \text{ bands} \times 256 \text{ samples}$ (per il VIS si utilizzano le colonne $5 \div 436$; per l'IR $1 \div 431$). Tenendo conto di questo 'ritaglio' lungo l'asse spettrale si ottiene la relazione tra lunghezze d'onda (in nm) e bands per i due canali nelle condizioni operative dello strumento:

$$\lambda_c^{VIS}(b) = 231.297 + 1.883 \cdot b \quad (4.4)$$

$$\lambda_c^{IR}(b) = 1000.39 + 9.437 \cdot b \quad (4.5)$$

dalle quali risulta che la SSI del canale VIS é uguale a 1.883 nm/band mentre per l'IR é di 9.437 nm/band. Il range spettrale VIS é compreso tra 231.296 e 1043.09 nm mentre quello IR tra 1000.39 e 5067.69 nm. I due canali, seppur con diverse risoluzioni spettrali, si sovrappongono tra 1000.39 e 1043.09 nm. Questi risultati sono stati valutati in alta risoluzione (senza binning): per i diversi modi strumentali é possibile ricavare i valori della calibrazione spettrale interpolando i parametri 4.4 - 4.5 secondo il binning applicato. In Tabella D.10 - D.11 é tabulata la lunghezze d'onda associata a ciascuna band dei canali -VIS ed -IR.



-IR

Figura 4.7: Il segnale del monocromatore durante le scansioni attorno a 1010 (alto), 3000 (centro) e 5000 nm (basso) utilizzate per la determinazione della calibrazione spettrale di VIRTIS-M-IR. Sinistra: immagini RGB dei frames con l'evoluzione spettrale del segnale ad inizio (B), centro (G) e fine scansione (R). Si notino gli ordini superiori del reticolo del monocromatore che generano diversi gruppi di segnali spuri sul piano focale. Destra: plot del segnale al sample=132 sulle tre posizioni di inizio (B), centro (G) e fine scansione (R).

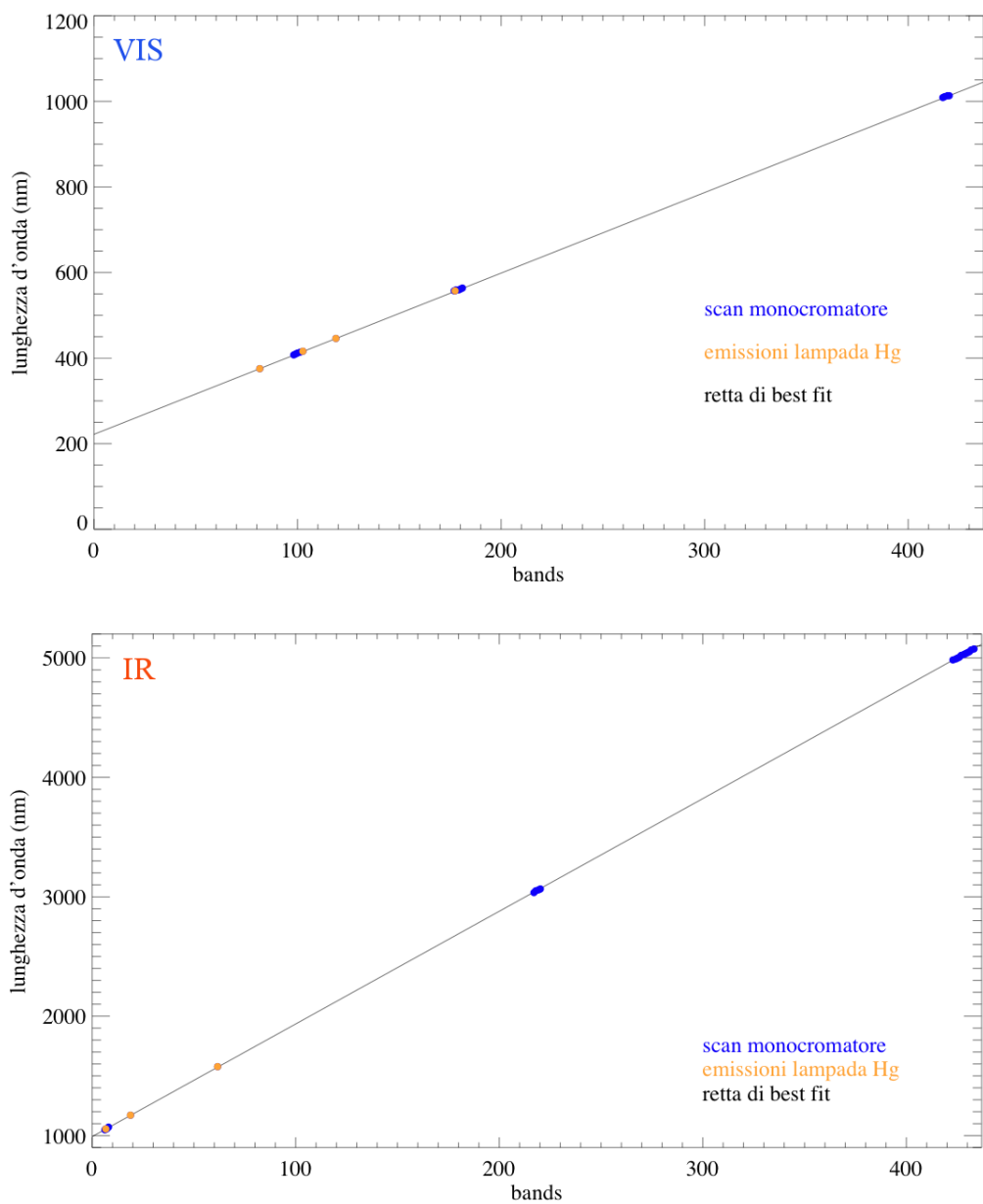


Figura 4.8: Retta di best fit sulle scansioni spettrali fatte con il monocromatore e sulle righe di emissione della lampada Hg sul canale -VIS (alto) ed -IR (basso). Il coefficiente angolare della retta corrisponde all'intervallo di campionamento spettrale SSI mentre l'intercetta fornisce la lunghezza d'onda alla $b=0$ dello spettrometro.

4.3 Calibrazioni geometriche

Le calibrazioni geometriche sono state realizzate mediante l'acquisizione di diversi target dalle caratteristiche spaziali ben definite posti al fuoco del collimatore; diverse scansioni fatte su fenditure (orientate parallelamente ed ortogonalmente a quella di VIRTIS-M) o su pattern di sorgenti puntiformi (microlampade) sono state acquisite per misurare le performance spaziali dell'esperimento (FOV, IFOV ed eventuali distorsioni in campo).

4.3.1 Misura dell'IFOV: le funzioni di pixel e di fenditura

In questa sezione viene descritto il metodo seguito per misurare l'IFOV (Instantaneous Field Of View) effettivo di VIRTIS-M lungo le due direzioni spaziali (parallela ed ortogonale alla fenditura); questa misura é possibile mediante l'uso della funzione del pixel e della fenditura (Thorne et al., 1999). La funzione del pixel, $PIXELF(s)$, é definita dalla convoluzione di una funzione unitaria a gradino, $V(s)$, che rappresenta il pixel fisico, e la risposta strumentale lungo l'asse dei sample, $INST(s)$:

$$PIXELF(s) = V(s) \otimes INST(s) \quad (4.6)$$

La funzione della fenditura, $SLITF(l)$, é invece data dalla convoluzione di una funzione unitaria a gradino, $U(l)$, che rappresenta la fenditura dello spettrometro, e la risposta del telescopio lungo l'asse delle line, $TEL(l)$:

$$SLITF(l) = U(l) \otimes TEL(l) \quad (4.7)$$

La larghezza spaziale lungo la fenditura, SW_s , é quindi la FWHM della funzione del pixel mentre la larghezza spaziale attraverso la fenditura, SW_l , corrisponde alla FWHM della funzione della fenditura. VIRTIS-M é stato costruito seguendo il requisito scientifico di un'IFOV di $250 \mu\text{rad}$ e di larghezze spaziali $\leq 375 \mu\text{rad}$. Durante le calibrazioni a terra queste grandezze sono state misurate sul boresight ($s=l=127$) e sulle due posizioni fuori asse G ($s=38, l=218$) e F ($s=218, l=38$). Il setup di misura consiste in una fenditura di prova (larghezza 0.1 mm , altezza 3.0 mm) posta al piano focale del collimatore; tenendo conto del rapporto di ingrandimento del collimatore sui piani focali di VIRTIS-M l'immagine della fenditura é pari a $15 \times 465 \mu\text{m}$. Con riferimento alla Figura 4.9 la fenditura di test, illuminata in attraversamento da una lampada ai vapori di mercurio (Hg), é disposta:

- parallelamente a quella di VIRTIS-M per la misura della funzione di fenditura;
- perpendicolarmente a quella di VIRTIS-M per la misura della funzione di pixel;

La fenditura di test viene allineata al fuoco del collimatore prima della misura massimizzando il segnale acquisito da VIRTIS-M in corrispondenza dei suoi due estremi.

Misura della funzione di fenditura

Per poter misurare la funzione di fenditura si dispone la fenditura di test al fuoco del collimatore parallelamente a quella di VIRTIS-M (orizzontale); mediante l'OCS si comanda una

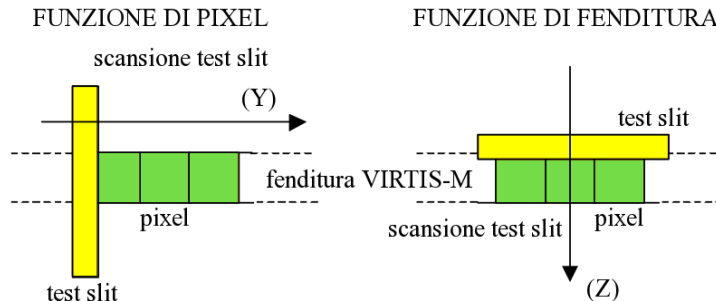


Figura 4.9: Schema dell'orientazione della fenditura di test per la determinazione delle funzioni di pixel e di fenditura di VIRTIS-M.

scansione del folding mirror sul banco ottico lungo la direzione verticale in modo tale che l'immagine della fenditura di test, partendo da una posizione esterna scorra attraverso il FOV individuato dalla posizione della fenditura di VIRTIS-M: sul generico pixel si osserva quindi un segnale simil-gaussiano in funzione della scansione. Complessivamente vengono compiuti 80 step da $33 \mu\text{rad}$: ciascuno step corrisponde ad uno spostamento di 0.132 pixel ($5.0 \mu\text{m}$) sul piano focale. In Tabella 4.5 viene riportato lo schema degli spostamenti della fenditura di test durante la scansione; il pixel risulta essere illuminato, interamente o parzialmente, dalla fenditura di test per 10 step consecutivi (interamente solo per 5 step, posizioni 3-7).

Naturalmente queste sono condizioni ideali, essendo presenti aberrazioni dei sistemi ottici (del collimatore e di VIRTIS-M) e tenendo conto dei limiti di allineamento della test slit rispetto a quella di VIRTIS-M. Lo strumento inoltre si trova ad operare al limite delle proprie capacità risolutive durante la misura della funzione di fenditura in quanto la fenditura di prova risulta essere più stretta di quella di VIRTIS-M (15 vs. $38 \mu\text{m}$): in queste condizioni la diffrazione della fenditura di VIRTIS-M non è ottimale non essendo completamente illuminata dalla sorgente da un bordo all'altro. Questo effetto causa una illuminazione disomogenea del reticolo di diffrazione con conseguente variazione della risposta strumentale. Infine le righe di emissione della lampada ai vapori di Hg in alcuni casi potrebbero avere una FWHM ($\approx \text{nm}$) inferiore alla risoluzione spettrale di VIRTIS-M, illuminando quindi parzialmente il pixel lungo l'asse delle bands (questo effetto incide maggiormente sulle misure del canale -IR in cui la risoluzione spettrale è 9.448 nm). Tenendo ben presenti questi effetti passiamo a descrivere i dati misurati sulle posizioni di boresight e fuori asse (F, G) per la valutazione della funzione di fenditura. In Figura 4.10 si riportano le immagini dei frames del canale -VIS ed -IR corrispondenti alle acquisizioni allo step=40 (centro della scansione) per le posizioni di boresight, G ed F. Alcuni effetti strumentali sono chiaramente evidenti su queste acquisizioni: il tilt spettrale² e la contaminazione degli ordini infrarossi sul canale -VIS³; la saturazione del segnale dovuto al background termico per $b > 350$ e la presenza di righe di emissione distorte

²L'effetto del tilt spettrale è quello di inclinare lo spettro rispetto all'asse dei sample. Si rimanda alla sezione 4.3.2 per la descrizione del fenomeno.

³Il segnale del canale -VIS è contaminato dal contributo della luce diffratta su gli ordini superiori del reticolo IR: in questo caso provoca la comparsa di righe spurie di basso segnale. La trattazione dell'effetto segue alla sezione 4.5.

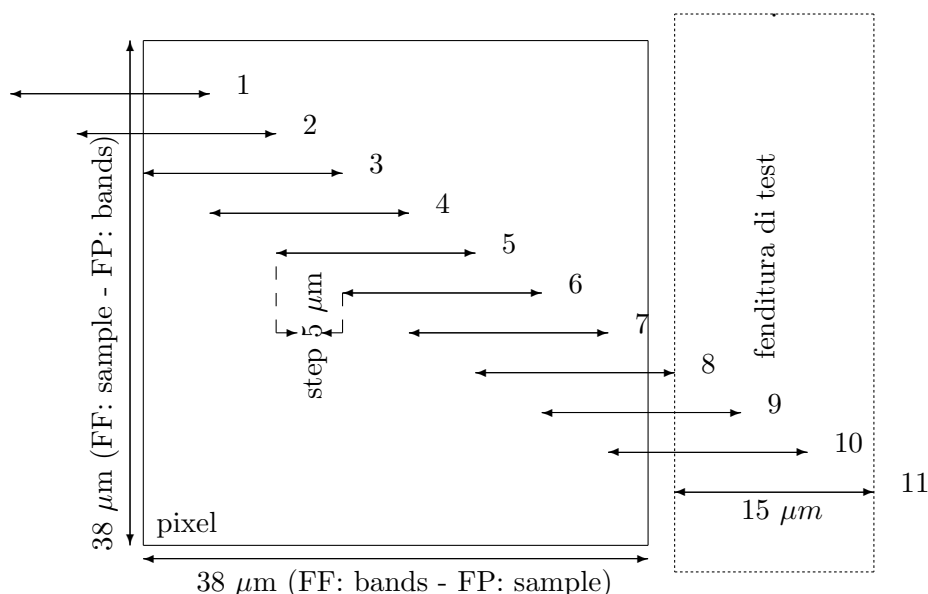


Tabella 4.5: Sequenza di scansione della fenditura di prova sul pixel per la determinazione della funzione di fenditura e di pixel di VIRTIS-M. Durante la misura della funzione di fenditura (FF) la direzione orizzontale corrisponde all'asse delle bands e quella verticale ai sample; per la funzione di pixel (FP) la direzione orizzontale coincide con l'asse dei sample e quella verticale alle bands.

dal filtro A-B/C tra $45 < b < 62$ sul canale -IR.

Nonostante questi effetti il calcolo della funzione di fenditura può essere fatta sulle righe di emissione della lampada al Hg tabulate in Tabella 4.6 ed identificate in Figura 4.11:

riga	bands	canale
a	76÷77	-VIS
b	97÷98	-VIS
c	113÷115	-VIS
d	172÷175	-VIS
e	188÷191	-VIS
f	366÷367	-VIS
g	2÷3	-IR
h	14÷15	-IR
i	39÷40	-IR
l	75÷76	-IR

Tabella 4.6: Identificazione delle righe di emissione della lampada Hg sui canali -VIS ed -IR.

La funzione di fenditura viene calcolata sulle band precedentemente elencate mediante un fit gaussiano applicato al segnale misurato dal pixel in funzione dell'angolo di scansione; il

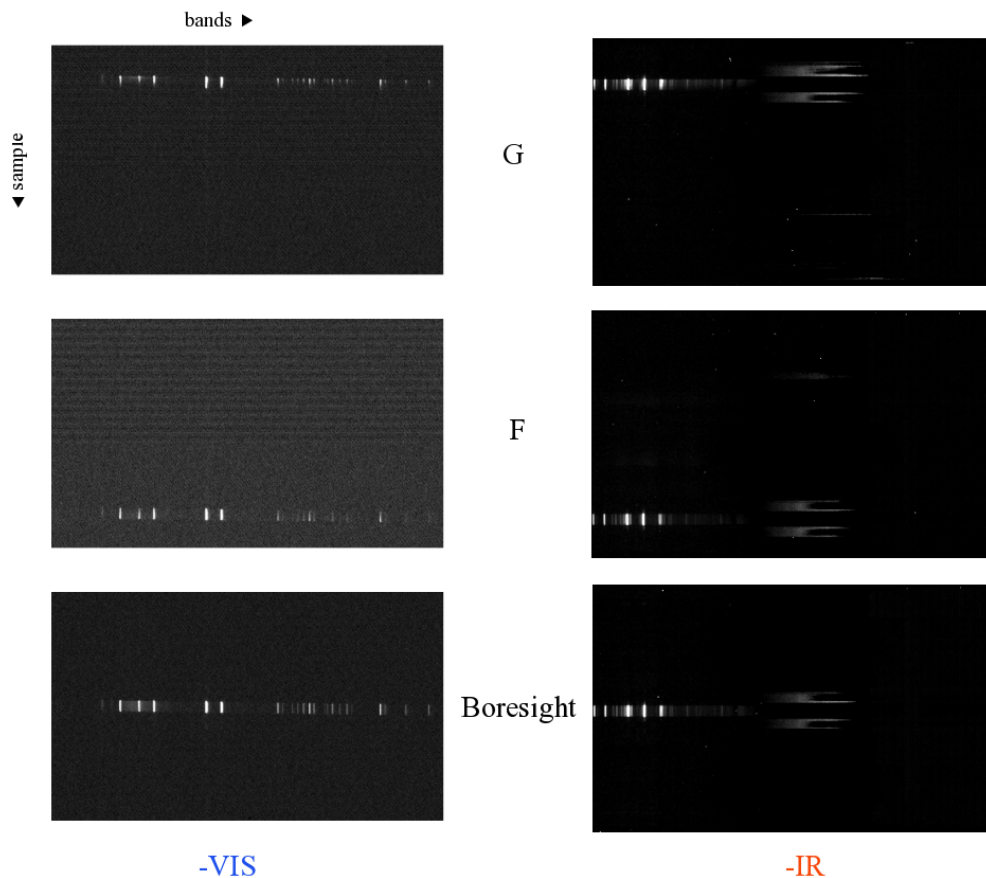


Figura 4.10: Frames con il segnale della fenditura di test sul canale -VIS (sinistra) ed -IR (destra): posizioni F (alto), G (centro) e boresight (basso) allo $\text{step}=40$ della scansione di misura della funzione di fenditura di VIRTIS-M-VIS. I frames del canale -IR sono saturi per $b > 350$.

metodo viene applicato all'intervallo di 12 samples illuminati dalla fenditura di test sulle tre posizioni di misura (boresight, G, F) riportati in Tabella 4.7.

Posizione	sample (-VIS)	sample (-IR)
Boresight	$121 \div 133$	$130 \div 141$
G	$33 \div 45$	$43 \div 57$
F	$211 \div 223$	$221 \div 234$

Tabella 4.7: Intervalli spaziali validi per la misura della funzione di fenditura sui canali -VIS ed -IR alle posizioni boresight, G, F.

Il fit fornisce posizione ed intensità del centro della gaussiana e la sua FWHM corrispondente alla funzione del pixel. Per meglio comprendere la variazione del segnale durante la scansione

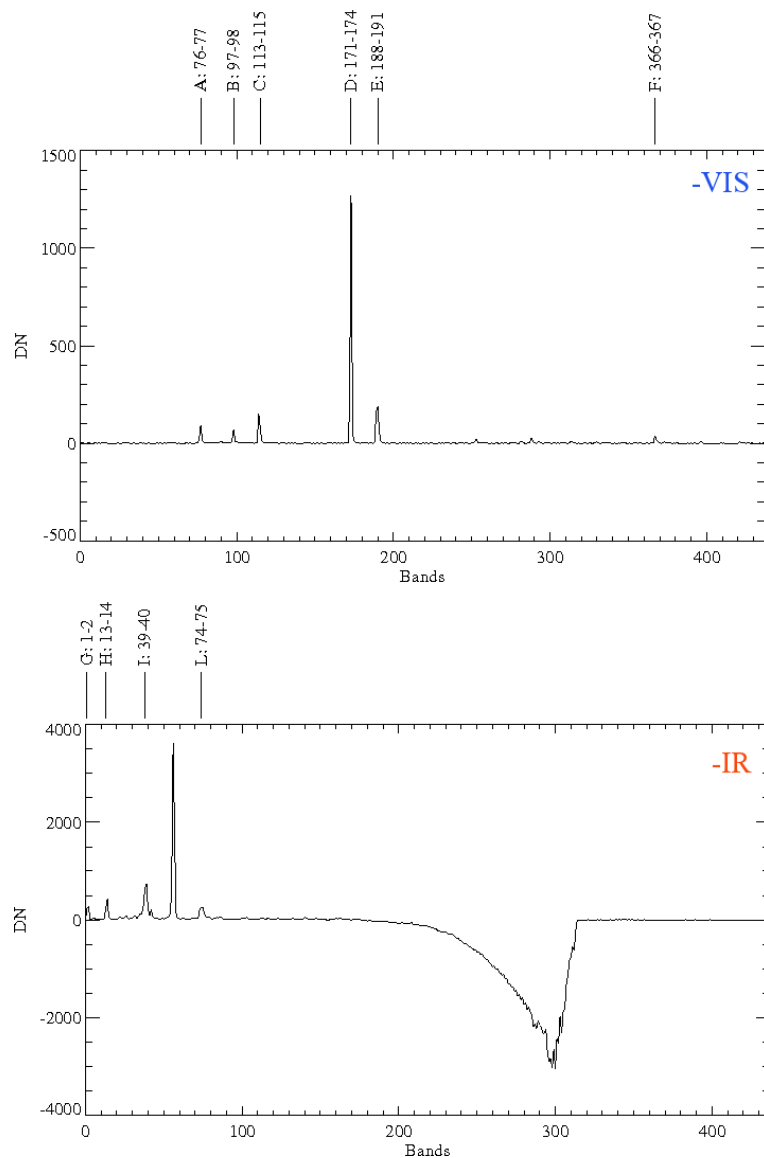


Figura 4.11: *Identificazione delle righe di emissione sulla lampada Hg per la misura della funzione di fenditura e di pixel di VIRTIS-M. Alto: range -VIS (righe a-f). Basso: range -IR (righe g-l).*

si mostrano in Figura 4.12 le slices delle sei acquisizioni (posizioni boresight, G, F per entrambi i canali); queste slices, di dimensioni bands \times scan step, sono estratte in corrispondenza del sample su cui si osserva il massimo segnale, ovvero 127-137 (VIS-IR), 40-50 (VIS-IR), 220-230 (VIS-IR) rispettivamente per le posizioni di boresight, G ed F. Lo shift di circa 10 sample tra i due canali é dovuto al fatto che durante la calibrazioni pre-lancio l'intero piano focale IR, di 270 samples, viene acquisito mentre la CCD é limitata a 256 samples⁴. Dalle slices

⁴Questo avviene perché i piani focali vengono letti mediante la sola PEM; in configurazione di volo i dati

-VIS si può notare un piccolo disallineamento della traccia della fenditura di prova: infatti all'aumentare degli step di scansione il segnale delle righe di emissione tende a spostarsi su bands maggiori. Questo effetto é probabilmente dovuto al passaggio della fenditura di prova sui bordi opposti della fenditura dello spettrometro. Nelle Figure 4.13 - 4.14 sono graficati i profili del segnale spettrale in funzione dell'angolo di scan per le righe di emissione della lampada Hg in corrispondenza dei sample=127 (boresight), 40 (G) e 217 (F); mentre i profili -VIS sono similgaussiani, quelli IR tendono a mostrare un picco secondario quando il segnale é elevato (ad esempio sulle righe g) oppure a diventare piuttosto piatte (righe l) quando il segnale é basso. Questo effetto é dovuto ad un residuo di astigmatismo presente sul canale -IR. Su profili simili a questi vengono calcolati i fit gaussiani, i cui risultati sono riportati nelle Tabelle D.12 - D.24. I valori delle FWHM rappresentano la larghezza angolare (in μrad) della funzione della fenditura e corrispondono all'IFOV del pixel attraverso la fenditura (lungo la direzione delle lines). Il metodo, applicato alle tre posizioni boresight, G ed F, permette di campionare l'IFOV su tre punti del FOV strumentale.

vengono processati dalla ME che provvede alla riduzione delle dimensioni dei pixel sui due frames a 432 bands \times 256 samples.

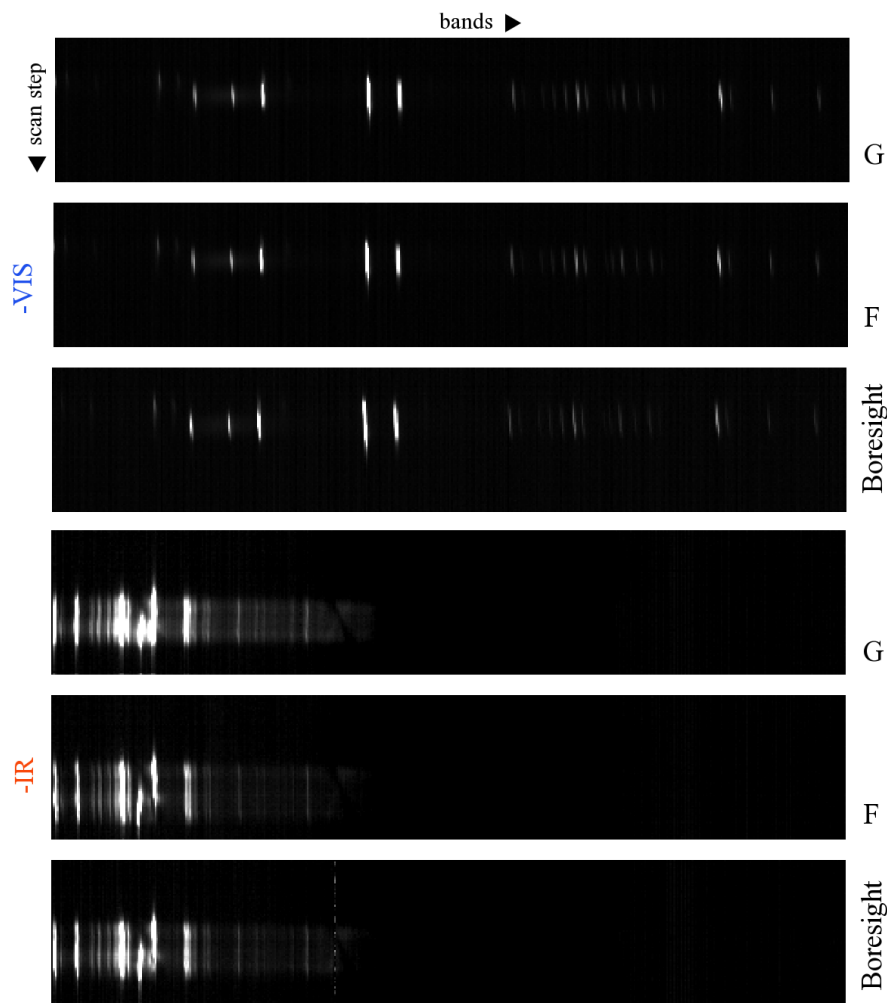


Figura 4.12: Slices (bands \times scan step) con il segnale della test slit sul canale -VIS (alto) ed -IR (basso) durante la scansione per la misura della funzione di fenditura. Le slices sono estratte in corrispondenza del sample su cui si osserva il massimo segnale: 127-137 (VIS-IR), 40-50 (VIS-IR), 220-230 (VIS-IR) rispettivamente per le posizioni di boresight, G ed F. Sui due canali la traccia delle righe di emissione é analoga per le posizioni F, G e boresight. I profili angolari (verticali) estratti da queste slices sono graficati nelle seguenti Figure 4.13 - 4.14. Tali profili sono utilizzati per la misura della funzione di fenditura mediante i fit gaussiani.

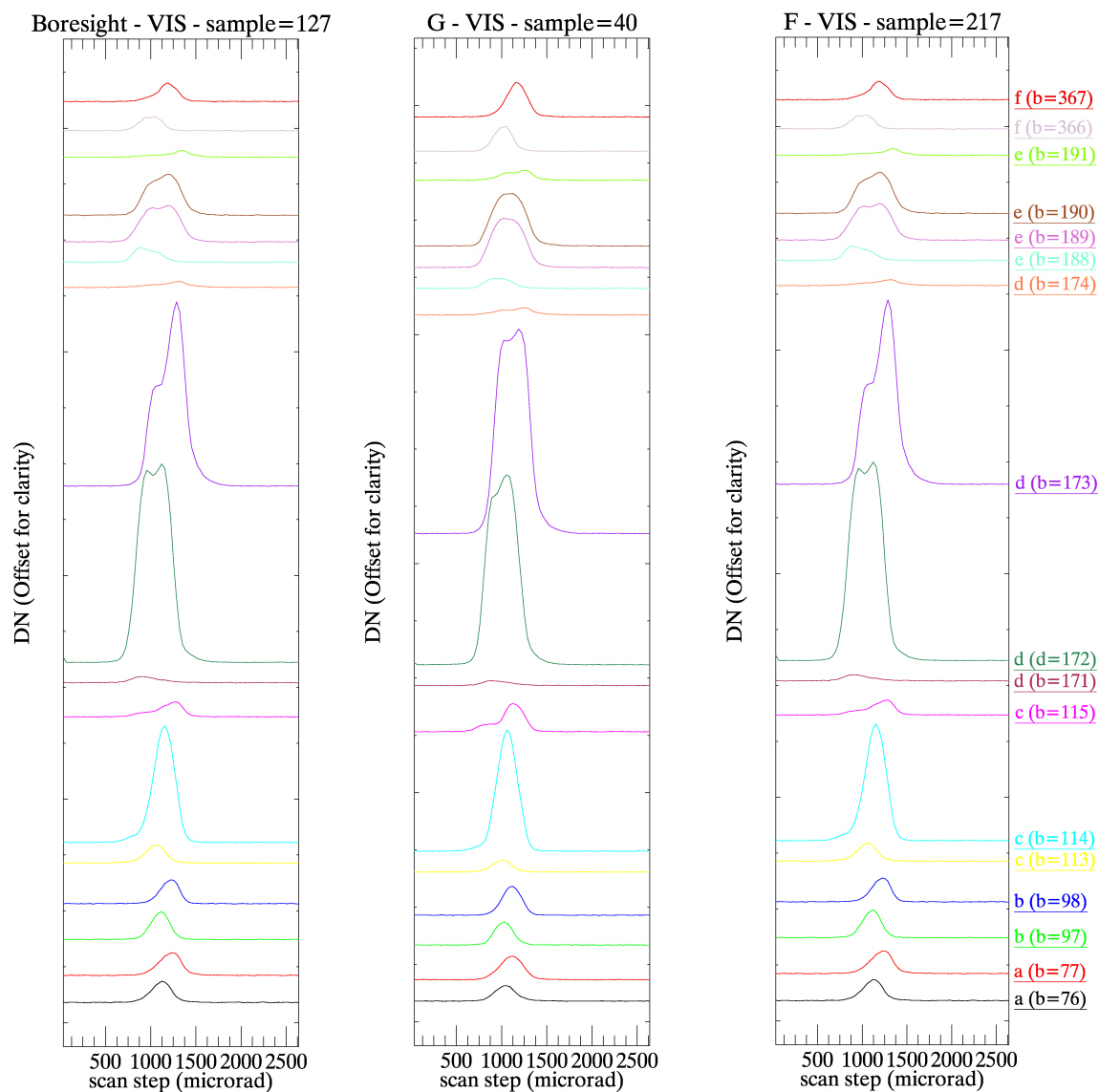


Figura 4.13: *Profili angolari con il segnale della test slit sul canale -VIS per le righe a-b-c-d-e-f della lampada Hg nelle posizioni boresight, G, F durante la misura della funzione di fenditura.*

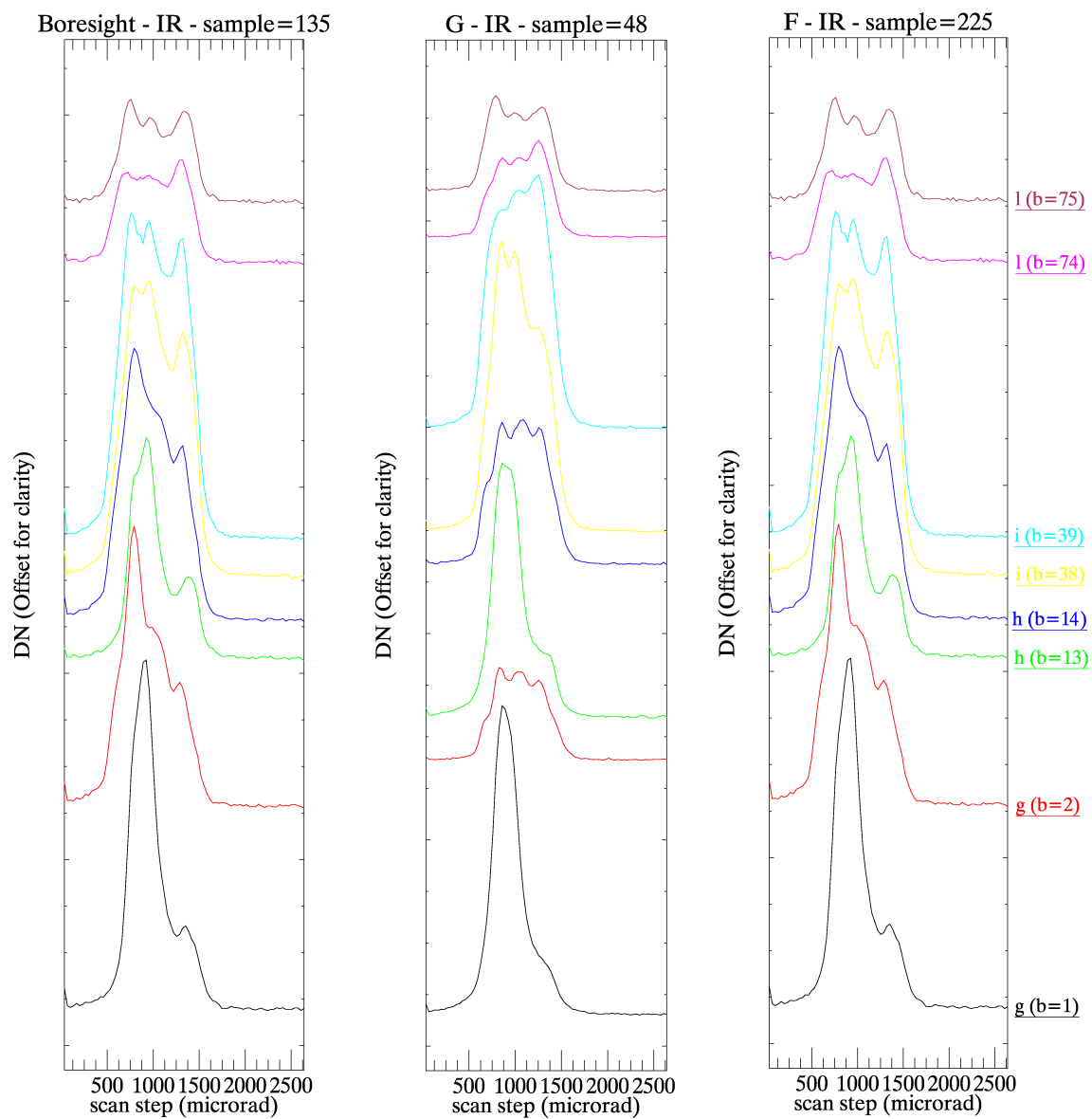


Figura 4.14: Profili angolari con il segnale della test slit sul canale -IR per le righe g-h-i-l della lampada Hg nelle posizioni boresight, G, F durante la misura della funzione di fenditura.

Misura della funzione di pixel

La misura della funzione di pixel si svolge in maniera analoga a quanto precedentemente descritto, l'unica sostanziale differenza essendo l'orientazione della test slit in direzione orizzontale e la sua scansione lungo la verticale. In Figura 4.15 si riportano le immagini dei frames contenenti l'evoluzione delle acquisizioni durante la scansione. Da queste immagini risulta evidente l'effetto del tilt spettrale e la contaminazione degli ordini infrarossi sul canale -VIS. I profili angolari del segnale in corrispondenza delle righe di emissione della lampada Hg sono graficati alle Figure 4.16 - 4.17; questi profili sono stati parametrizzati mediante un fit gaussiano applicando lo stesso metodo di misura della funzione di fenditura. Nelle Tabelle D.16 - D.31 sono riportati i risultati dei fit per le posizioni boresight, G ed F.

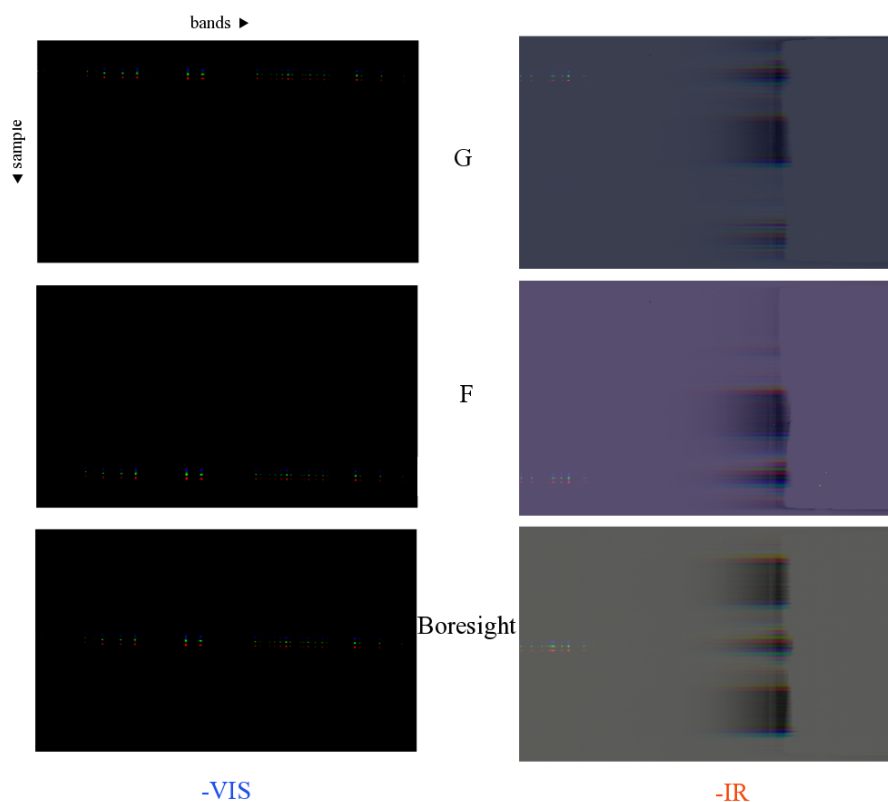


Figura 4.15: Frames con il segnale della test slit sul canale -VIS (sinistra) ed -IR (destra): posizioni G (alto), F (centro) e boresight (basso). Le immagini a colori permettono di evidenziare lo spostamento dello spot durante la scansione (canale B step=1, G step=40, R step=80) effettuata per la misura della funzione di pixel di VIRTIS-M-VIS. Notare l'effetto del tilt spettrale e la contaminazione degli ordini infrarossi sul canale -VIS. I frames del canale -IR sono saturi per $b > 350$.

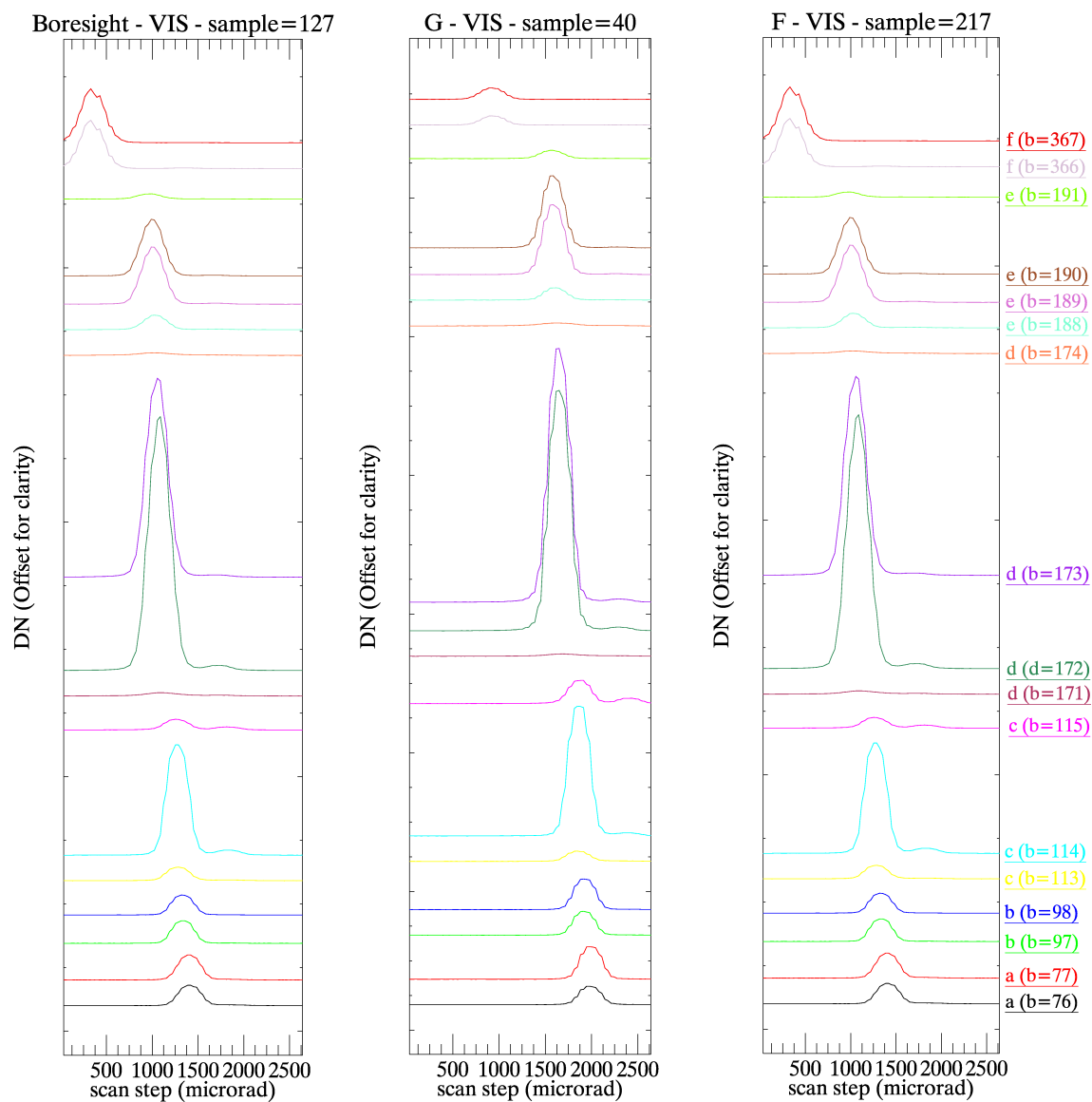


Figura 4.16: Profili angolari con il segnale della test slit sul canale -VIS per le righe a-b-c-d-e-f della lampada Hg nelle posizioni boresight, G, F durante la misura della funzione di pixel.

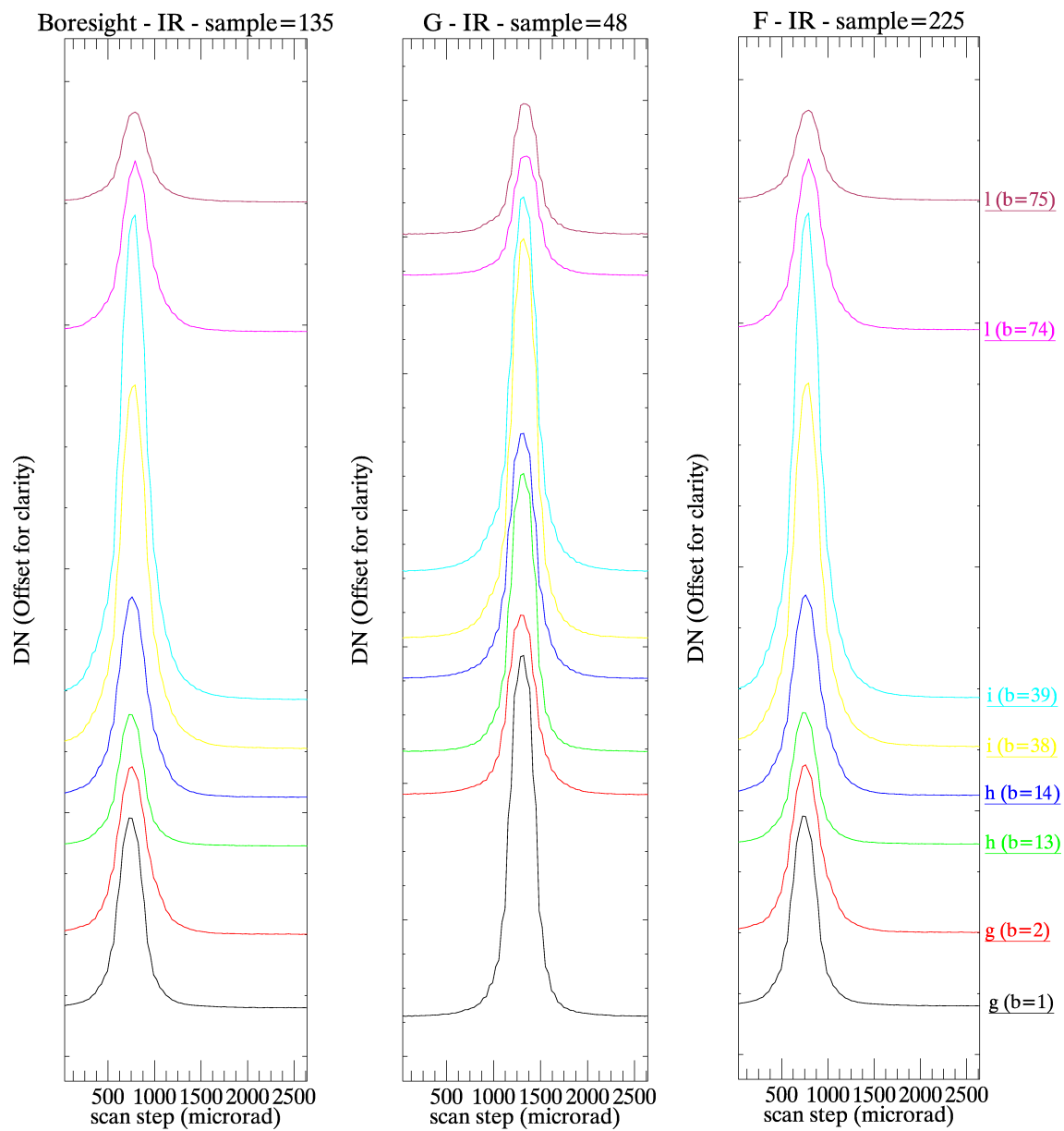


Figura 4.17: Profili angolari con il segnale della test slit sul canale -IR per le righe g-h-i-l della lampada Hg nelle posizioni boresight, G, F durante la misura della funzione di pixel.

Posizione	sample	line	riga di emissione	$\langle FWHM_{pixel} \rangle$ [μrad]	$\langle FWHM_{fenditura} \rangle$ [μrad]
B	128	128	a (b=76÷77) -VIS	296.732	270.377
B	128	128	b (b=97÷98) -VIS	361.325	238.874
B	128	128	c (b=113÷115) -VIS	260.141	285.386
B	128	128	d (b=171÷174) -VIS	407.626	378.936
B	128	128	e (b=188÷191) -VIS	316.470	368.374
B	128	128	f (b=366÷367) -VIS	372.631	269.135
B	128	128	g (b=1÷2) -IR	474.964	453.133
B	128	128	h (b=13÷14) -IR	466.215	526.013
B	128	128	i (b=38÷39) -IR	567.651	796.098
B	128	128	l (b=74÷75) -IR	537.579	865.676
G	38	218	a (b=76÷77) -VIS	268.913	281.403
G	38	218	b (b=97÷98) -VIS	259.218	242.477
G	38	218	c (b=113÷115) -VIS	373.787	267.676
G	38	218	d (b=171÷174) -VIS	378.337	380.001
G	38	218	e (b=188÷191) -VIS	270.829	378.235
G	38	218	f (b=366÷367) -VIS	265.412	250.271
G	38	218	g (b=1÷2) -IR	560.151	474.747
G	38	218	h (b=13÷14) -IR	509.356	502.496
G	38	218	i (b=38÷39) -IR	576.500	654.557
G	38	218	l (b=74÷75) -IR	472.048	705.842
F	218	38	a (b=76÷77) -VIS	332.617	286.106
F	218	38	b (b=97÷98) -VIS	276.802	272.158
F	218	38	c (b=113÷115) -VIS	321.539	325.814
F	218	38	d (b=171÷174) -VIS	484.566	319.861
F	218	38	e (b=188÷191) -VIS	339.090	412.865
F	218	38	f (b=366÷367) -VIS	341.333	284.719
F	218	38	g (b=1÷2) -IR	242.471	330.603
F	218	38	h (b=13÷14) -IR	471.393	482.777
F	218	38	i (b=38÷39) -IR	594.850	683.790
F	218	38	l (b=74÷75) -IR	539.597	582.749

Tabella 4.8: Funzione di pixel e di fenditura medi sulle posizioni boresight, G, F sulle righe di emissione a÷l.

Proprietà dell'IFOV

Utilizzando i risultati precedentemente ottenuti per le funzioni di fenditura e di pixel é possibile ricavare l'IFOV effettivo di VIRTIS-M in corrispondenza delle posizioni di Boresight, G ed F alle lunghezze d'onda corrispondenti alle emissioni della lampada Hg (righe a-l). Ricordiamo che la funzione di fenditura fornisce l'ampiezza dell'IFOV lungo la direzione delle lines mentre la funzione di pixel lungo l'asse dei sample. In Tabella 4.8 si riportano i valori medi delle $FWHM_{pixel}$, $FWHM_{fenditura}$ risultanti dalle Tabelle D.12 - D.31.

Come si può apprezzare dalle seguenti Figure 4.18, 4.19, 4.20 l'ampiezza complessiva dell'IFOV del canale -VIS é compatibile con il requisito dei 250 μrad ; l'IFOV del canale -IR é invece maggiore di circa il 50% a causa di un residuo di astigmatismo non compensato durante il montaggio delle ottiche. Questo effetto é dovuto al fatto che i reticoli convessi

possiedono due posizioni di fuoco: al fuoco tangenziale si minimizza il defocusing dell'immagine mentre a quello sagittale si riduce l'astigmatismo (Riedl, 2001). Durante il montaggio dello spettrometro si cerca ovviamente di ridurre entrambi sia sul canale VIS che su quello IR; tuttavia poiché il montaggio avviene a temperatura ambiente si può verificare la sola risposta del canale -VIS; il detector del canale -IR infatti non può essere acceso al di fuori delle condizioni del termovuoto e questo ne rende problematico l'allineamento.

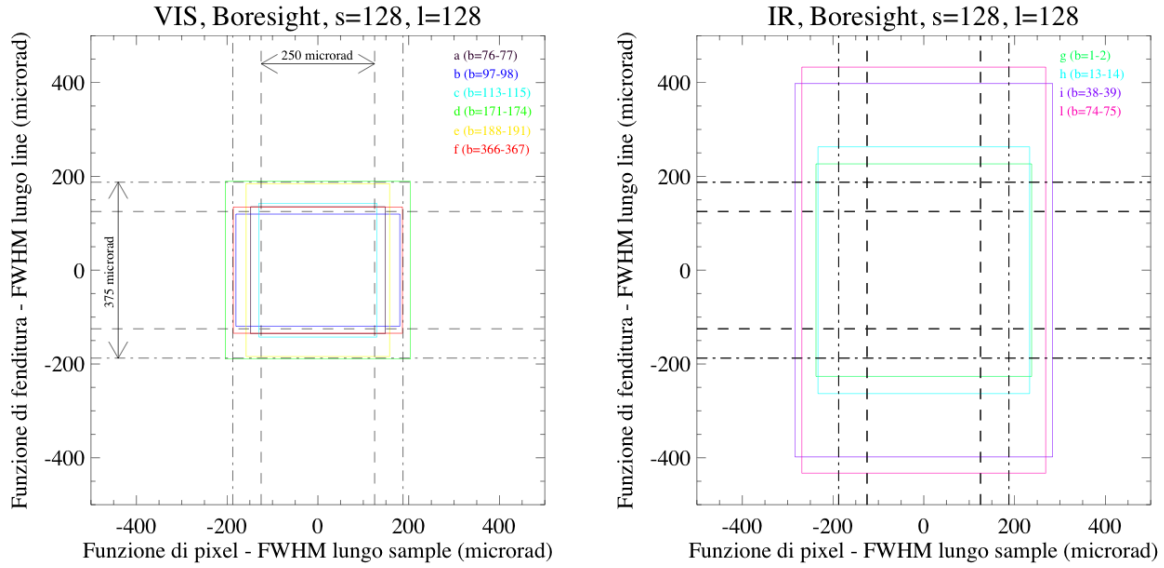


Figura 4.18: Risultati medi delle funzioni di fenditura e di pixel di VIRTIS-M sul boresight. Sinistra: canale -VIS. Destra: canale -IR.

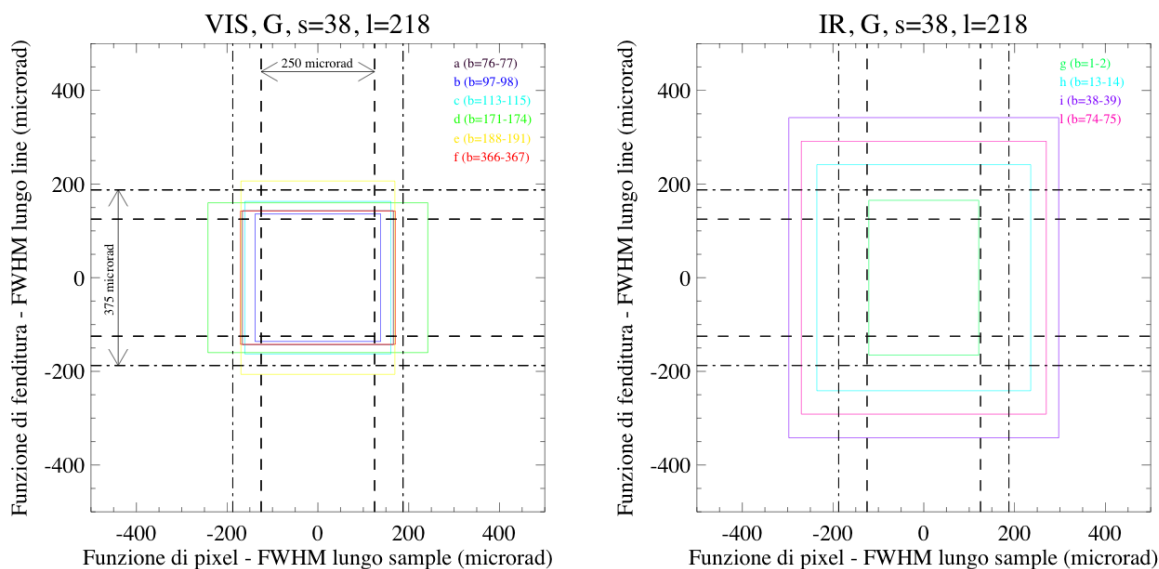


Figura 4.19: Risultati medi delle funzioni di fenditura e di pixel di VIRTIS-M sulla posizione G. Sinistra: canale -VIS. Destra: canale -IR.

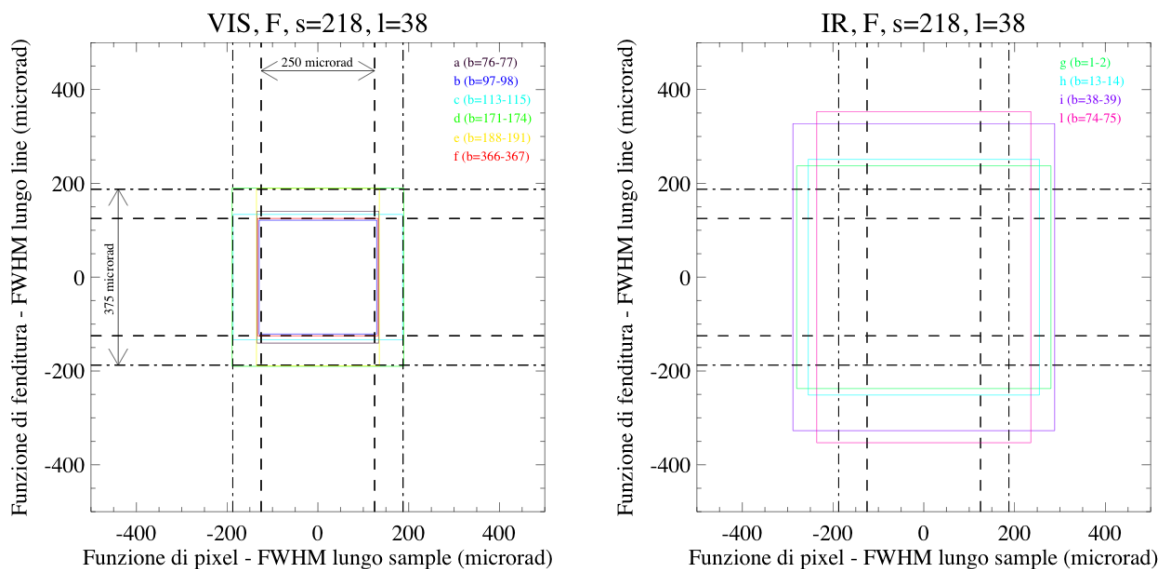


Figura 4.20: Risultati medi delle funzioni di fenditura e di pixel di VIRTIS-M sulla posizione F. Sinistra: canale -VIS. Destra: canale -IR.

4.3.2 Registrazione spaziale

In questa sezione vengono descritte le acquisizioni di un target geometrico impiegato per la misura dell'effetto del tilt spettrale e delle distorsioni indotte sull'immagine. Le capacità di imaging dello spettrometro sono state valutate mediante l'acquisizione di un target di riferimento geometrico posto al fuoco del collimatore. Il target utilizzato é costituito da una matrice di 5×5 microlampade alloggiate su un supporto brunito con interdistanze di 1.5 cm lungo le righe e le colonne. Ciascuna sorgente é costituita da un filamento al tungsteno, una lente di condensazione e da un pinhole di 0.3 mm di diametro. Al fine di compensare le aberrazioni ottiche introdotte dall'apertura del collimatore off-axis, le microlampade sono alloggiate a quote diverse sulla superficie di un paraboloide passante per il pinhole di ciascuna di esse: con questa costruzione ciascuna raggiunge la posizione di miglior fuoco all'interno del field of view dello spettrometro. La registrazione spaziale é stata compiuta mediante l'acquisizione del target illuminato con due scansioni complete di 256 lines effettuate dallo specchio primario di scan. I tempi di esposizione e la tensione di alimentazione delle lampade sono stati ottimizzati separatamente per le due scansioni in modo da avere un elevato rapporto segnale-rumore su entrambi i canali: per il canale VIS si é utilizzato un tempo di esposizione di 1 sec con una tensione di alimentazione delle microlampade di 8.0 V; per il canale IR 0.1 sec e 1.5 V. Le due diverse tensioni applicate alle lampade sono necessarie per avere il picco di emissione nel range VIS o IR secondo la legge di Wien che intercorre tra la lunghezza d'onda di massima emissione e la temperatura del filamento.

I due cubi acquisiti sono stati processati mediante la rimozione del frame di background e di dark current. Mentre nel VIS si osserva un sufficiente segnale (con un max di 23788 DN alla band=376, $\lambda = 939.5$ nm) su tutto il range spettrale, la misura nell'IR é limitata fino a circa 4303 nm (band=350); a lunghezze d'onda superiori l'emissione termica dei supporti dei pinhole, scaldati dal filamento durante la scansione, diventa predominante rispetto al flusso emesso dal filamento. Queste misure sono state di fondamentale importanza per verificare la qualità ottica dei due canali: soprattutto il canale VIS risulta essere affetto da un evidente tilt spettrale, dell'ordine di circa 8 pixels lungo l'intero range spettrale; il fenomeno, descritto in precedenza per VIMS-V (vedi sezione 2.5.1) é dovuto ad un non sufficiente parallelismo tra le linee delle regioni VIS ed IR sul reticolo di diffrazione. Secondo il disegno ottico le linee del reticolo devono essere parallele tra loro ed allineate con l'asse della fenditura ed il lato spaziale (sample) dei piani focali. Purtroppo durante la fase costruttiva del reticolo, presso la Zeiss, il livello di tolleranza sul parallelismo tra le linee VIS ed IR non é stato definito in maniera sufficientemente elevato. Questo ha costretto, durante la fase di assemblaggio ed allineamento dello spettrometro, di cercare un compromesso soddisfacente: si é pertanto deciso di allineare le linee IR del reticolo con la fenditura in modo da minimizzare il tilt spettrale su questo canale e quindi di massimizzarlo sul canale VIS. Sebbene il tilt spettrale sia particolarmente evidente sulle immagini RGB del canale VIS (vedi Figura 4.22), é possibile rimuovere l'effetto in fase di post processing una volta che ne sia stata misurata l'entità.

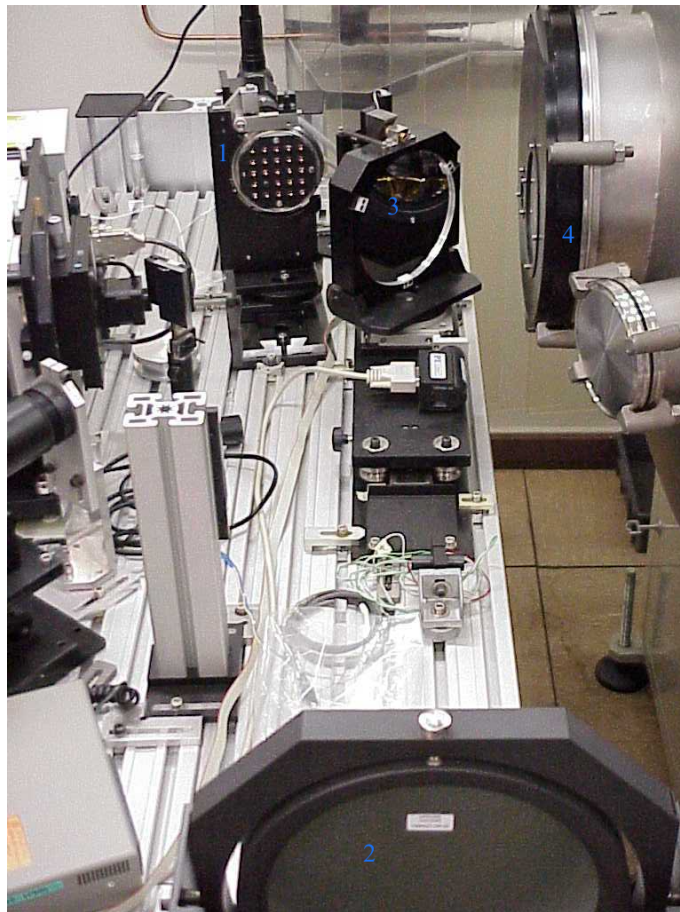


Figura 4.21: *Setup di misura del target con 25 microlampade utilizzato per la registrazione spaziale: 1) target con le 25 lampade accese; 2) parabola off-axis del collimatore (retro); 3) folding mirror orientato a 45° verso il boresight di VIRTIS-M; 4) finestra della camera a termovuoto contenente VIRTIS-M.*

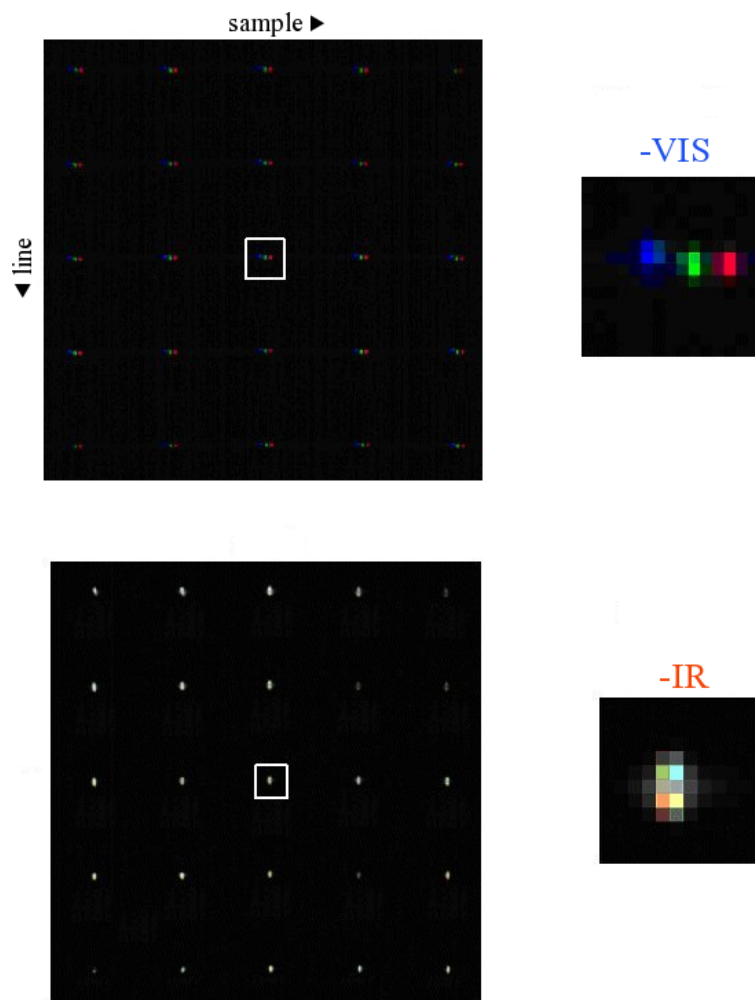


Figura 4.22: Sinistra: immagini RGB complete (256 samples, 256 lines, origine in corrispondenza dell'angolo in alto a sinistra) delle 25 microlampade acquisite dai canali VIS (alto) ed IR (basso). Destra: zoom sulle immagini della lampada centrale. Il canale VIS é affetto da un tilt spaziale di circa 8 pixels (su tutto il range spettrale) lungo l'asse sample con conseguente spostamento degli spot monocromatici. Tale effetto non é presente sul canale IR. Composizione colori VIS: R band=400, G band=200, B band=50. Composizione colori IR: R band=200, G band=100, B band=55.

Su ciascuna immagine monocromatica (band=b) sono state misurate le posizioni dei baricentri spaziali (sample, line) di ciascuno spot delle lampade mediante un fit gaussiano bidimensionale. Queste misure permettono di valutare lo spostamento, in direzione e verso, dello spot sull'immagine monocromatica rispetto all'immagine alla band b=0 scelta come riferimento. Conoscendo le cause che provocano questo effetto possiamo dedurre che:

- l'effetto deve essere presente sul solo canale VIS in quanto il canale IR é stato correttamente allineato durante le fasi di montaggio;

-VIS								
Lampada	s_0	$slope_s$ (rad)	$slope_s$ (deg)	Δs	l_0	$slope_l$ (rad)	$slope_l$ (deg)	Δl
0	13.7530	0.0190590	1.09200	8.34885	16.3386	0.00325200	0.186326	1.42438
1	13.3483	0.0185674	1.06383	8.13345	71.7574	0.00269520	0.154429	1.18054
2	13.4608	0.0183027	1.04867	8.01747	126.860	0.00185752	0.106428	0.813594
3	13.5472	0.0180530	1.03436	7.90807	181.753	0.00148219	0.0849235	0.649202
4	13.7915	0.0178381	1.02205	7.81393	236.560	-3.07515e-005	-0.00176193	-0.0134691
5	68.5504	0.0188277	1.07875	8.24751	16.0694	0.00411761	0.235921	1.80352
6	68.6337	0.0185526	1.06299	8.12698	71.2104	0.00217059	0.124360	0.950721
7	68.6040	0.0183451	1.05110	8.03606	126.254	0.00178614	0.102338	0.782328
8	68.5523	0.0184444	1.05678	8.07955	181.097	0.00155195	0.0889204	0.679756
9	68.9726	0.0182225	1.04407	7.98233	235.662	0.00105417	0.0603992	0.461725
10	123.504	0.0189150	1.08375	8.28577	15.7645	0.00345403	0.197902	1.51287
11	123.731	0.0181800	1.04164	7.96374	70.5482	0.00263676	0.151075	1.15490
12	123.666	0.0184156	1.05514	8.06694	125.880	0.00192966	0.110562	0.845193
13	123.837	0.0183670	1.05235	8.04566	180.323	0.00178780	0.102433	0.783056
14	124.363	0.0182879	1.04782	8.01100	235.166	0.00157920	0.0904813	0.691688
15	179.310	0.0184291	1.05591	8.07287	16.1435	0.00355648	0.203771	1.55775
16	178.989	0.0185105	1.06057	8.10851	70.9843	0.00275689	0.157958	1.20752
17	179.199	0.0183609	1.05200	8.04296	125.669	0.00234684	0.134464	1.02792
18	179.545	0.0177086	1.01463	7.75719	180.728	0.00193365	0.110790	0.846942
19	180.277	0.0181373	1.03919	7.94503	235.080	0.00172715	0.0989582	0.756491
20	233.895	0.0183309	1.05028	8.02981	16.6130	0.00386496	0.221446	1.69286
21	234.317	0.0180447	1.03388	7.90443	71.2123	0.00311554	0.178508	1.36461
22	234.836	0.0178020	1.01998	7.79811	126.294	0.00277185	0.158815	1.21407
23	235.125	0.0180280	1.03293	7.89712	180.681	0.00241258	0.138231	1.05671
24	235.671	0.0173063	0.991578	7.58092	235.571	0.00195324	0.111913	0.855522

Tabella 4.9: Risultati dei fit-lineari del tilt spettrale per le 25 microlampade sul canale VIS. Per ogni lampada sono indicate le posizioni (s_0 , l_0) alla band=0; $slope_s$, $slope_l$ sono i coefficienti angolari del fit (in radianti ed in gradi) e Δs , Δl sono i massimi shift registrati tra le posizioni dello spot tra le band=0 e 432 valutati come $\Delta = 432 \tan(slope)$. L'effetto del tilt si osserva lungo la direzione dei sample essendo $\Delta s \approx 8$ pixels mentre é di circa 1 pixel lungo la direzione delle lines. La lampada centrale numero 12 é posizionata all'incirca sul boresight di VIRTIS.

- lo spostamento delle immagini monocromatiche VIS deve seguire un andamento lineare lungo l'asse sample al variare delle bands;
- non si deve osservare una dipendenza lungo l'asse delle lines in quanto il disallineamento si mantiene indipendentemente dalla posizione dello scanning mirror.

I risultati dei fit lineari applicati alle 25 lampade sul canale VIS ed IR sono riportati nelle tabelle 4.9 e 4.10.

-IR								
Lampada	s_0	$slope_s$ (rad)	$slope_s$ (deg)	Δs	l_0	$slope_l$ (rad)	$slope_l$ (deg)	Δl
0	27.0719	-0.000315147	-0.0180566	-0.138035	15.9566	0.00256002	0.146678	1.12129
1	26.6860	-0.00165894	-0.0950503	-0.726617	71.7063	0.00336897	0.193028	1.47562
2	26.8370	-0.00222645	-0.127566	-0.975187	126.859	0.00246215	0.141071	1.07842
3	26.8886	-0.00183914	-0.105375	-0.805542	181.487	0.00303757	0.174040	1.33046
4	26.9975	-0.00251177	-0.143914	-1.10016	236.605	0.000546436	0.0313085	0.239339
5	81.8913	-0.000747185	-0.0428106	-0.327267	16.0051	0.00338005	0.193662	1.48047
6	81.9233	-0.000978902	-0.0560869	-0.428759	71.1062	0.00367696	0.210674	1.61052
7	81.8533	-0.00136307	-0.0780983	-0.597026	126.149	0.00285016	0.163302	1.24837
8	81.9269	-0.00216511	-0.124052	-0.948321	180.969	0.00257550	0.147565	1.12807
9	82.3585	-0.00204364	-0.117092	-0.895115	235.604	0.00194031	0.111172	0.849857
10	136.745	-0.00106976	-0.0612927	-0.468555	15.9236	0.00298725	0.171157	1.30842
11	136.804	-0.00174123	-0.0997650	-0.762658	70.4641	0.00378268	0.216732	1.65682
12	136.875	-0.00208787	-0.119626	-0.914488	125.712	0.00315779	0.180928	1.38312
13	136.998	-0.00186199	-0.106684	-0.815554	180.244	0.00219303	0.125651	0.960548
14	137.561	-0.00193208	-0.110700	-0.846252	235.093	0.00206734	0.118450	0.905498
15	192.214	-0.00105261	-0.0603101	-0.461043	16.1210	0.00545630	0.312623	2.38988
16	192.088	-0.00163404	-0.0936235	-0.715709	71.0073	0.00468179	0.268247	2.05064
17	192.219	-0.00162297	-0.0929895	-0.710862	125.841	0.00223690	0.128165	0.979764
18	192.328	-0.00130184	-0.0745899	-0.570206	180.817	0.00171682	0.0983668	0.751969
19	193.227	-0.00218396	-0.125132	-0.956575	235.037	0.00246923	0.141477	1.08153
20	246.892	-0.00167908	-0.0962045	-0.735440	16.9389	0.00477058	0.273334	2.08953
21	247.193	-0.00161378	-0.0924630	-0.706838	71.2466	0.00484444	0.277566	2.12188
22	247.683	-0.00158163	-0.0906205	-0.692753	126.373	0.00323733	0.185485	1.41795
23	248.099	-0.00208510	-0.119467	-0.913274	180.731	0.00266749	0.152836	1.16837
24	248.307	-0.00198022	-0.113458	-0.867338	235.477	0.00265722	0.152247	1.16386

Tabella 4.10: *Risultati dei fit-lineari del tilt spettrale per le 25 microlampade sul canale IR. Per ogni lampada sono indicate le posizioni (s_0 , l_0) alla band=0; $slope_s$, $slope_l$ sono i coefficienti angolari del fit (in radianti ed in gradi) e Δs , Δl sono i massimi shift registrati tra le posizioni dello spot tra le band=0 e 432 (tilt spettrale) valutati come $\Delta = 432 \tan(slope)$. La lampada centrale numero 12 é posizionata all'incirca sul boresight di VIRTIS.*

Sul canale IR é possibile determinare i baricentri spettrali delle lampade solo fino alla band=350; nell'intervallo $350 \leq b \leq 432$ il segnale é fortemente contaminato dall'emissione termica del supporto delle lampade che impedisce una corretta misura. Osservando i valori riportati nelle Tabelle 4.9, 4.10 si può notare che i baricentri (s_0 , l_0) delle lampade sui due canali hanno valori simili lungo l'asse delle lines mentre sono traslati di diversi pixel lungo l'asse dei sample: ad esempio per la lampada 12 si ha un $s_0^{VIS} = 123.666$ mentre $s_0^{IR} = 136.875$. Questo shift é imputabile al fatto che l'elettronica di lettura usata durante le calibrazioni acquisisce i piani focali VIS (255 samples) ed IR (270 samples) per intero, senza cioè ricorrere alla riduzione della lettura sulle sole finestre utilizzate dall'elettronica in volo (255 samples per entrambi i canali). Per questo motivo sulle misure fatte durante le calibrazioni a terra il boresight del canale VIS corrisponde al sample $256/2=128$ mentre quello del canale IR al sample $270/2=135$. I baricentri del canale VIS lungo l'asse dei sample risultano essere ulteriormente ridotti dall'effetto del tilt spettrale: i valori tabulati sono infatti riferiti alla band=0 per entrambi i canali. Utilizzando i risultati dei fit si ottengono i valori medi del tilt spettrale sui due canali tra le band=0 e 431:

$$\Delta s_{VIS} = 432 \cdot \tan(\alpha_s) = 8.01 \pm 0.17 \quad (4.8)$$

$$\Delta l_{VIS} = 432 \cdot \tan(\alpha_l) = 1.01 \pm 0.41 \quad (4.9)$$

$$\Delta s_{IR} = 432 \cdot \tan(\alpha_s) = -0.72 \pm 0.23 \quad (4.10)$$

$$\Delta l_{IR} = 432 \cdot \tan(\alpha_l) = 1.32 \pm 0.48 \quad (4.11)$$

Mentre l'effetto del tilt é trascurabile sul canale IR, all'incirca 1 pixel spaziale, sul canale VIS assume un valore di circa 8 pixel lungo la direzione della fenditura (sample). La rotazione delle linee della regione del reticolo VIS attorno all'asse ottico provoca lo spostamento delle singole immagini monocromatiche della fenditura lungo la direzione dei samples. Come risultato si osserva una deformazione a parallelogramma in cui le singole immagini monocromatiche della fenditura si mantengono parallele alle colonne della CCD: l'informazione spettrale e quella spaziale sono pertanto mantenute invariate, senza contaminazioni tra pixels adiacenti, lungo ciascuna colonna della CCD. L'effetto diventa particolarmente evidente quando si compone un'immagine a colori scegliendo i canali RGB classici (700, 550, 440 nm): gli spot delle immagini B ed R sono infatti spostati rispetto allo spot G che cade nel centro (vedi il riquadro in alto a destra della Figura 4.22). Questo effetto, come anticipato in precedenza nella sezione 2.5.1 dedicata all'esperimento VIMS-V, può essere drasticamente rimosso mediante un algoritmo di detilting una volta che si conosca il coefficiente di tilt. L'algoritmo di detilting verrà descritto nella sezione 5.3 e testato su un'acquisizione della Terra effettuata da VIRTIS-M durante il flyby del 5-3-2005.

La posizione assoluta dei baricentri delle lampade ottenuta nella precedente elaborazione é utilizzabile anche per determinare le deformazioni introdotte dallo strumento sul campo di vista. La posizione assoluta delle 25 lampade é stata misurata mediante un teodolite posto sulla pupilla di uscita del collimatore. In Tabella 4.11 é riportata per ciascuna lampada la misura degli angoli di azimuth ed altezza rispetto alla lampada centrale; sono inoltre tabulate le conversioni angolari delle posizioni dei baricentri misurati sul canale VIS alla $b=100$ rispetto alla lampada 12 (si é assunto il valore nominale dell'IFOV pari a $250 \mu\text{rad}/\text{pixel}$).

Lo shift massimo che si osserva tra le due serie di posizioni raggiunge differenze massime dell'ordine di circa $500 \mu\text{rad}$ (2 pixels) in corrispondenza delle 4 lampade poste agli angoli del target; questo effetto é dovuto ad un piccolo disallineamento del target portalampe rispetto all'asse orizzontale e quindi alla fenditura dello spettrometro. Come conseguenza le posizioni di tutte le lampade misurate sul lato destro del FOV di VIRTIS hanno azimuth maggiori (in modulo) rispetto alle posizioni misurate con il teodolite.

Dai dati di telemetria é infine possibile conoscere i valori del seno e del coseno dell'angolo elettrico comandato al motore dello specchio di scansione M1 e la corrente effettivamente assorbita da questo durante lo scan in funzione della line raggiunta. Nelle seguenti Figure 4.24, 4.25, 4.26 sono riportati i valori di questi tre parametri relativi alle due scansioni complete da 256 lines fatte per le due acquisizioni (ottimizzate rispettivamente per il -VIS e l'-IR) delle 25 microlampade; nei due casi i parametri elettrici del motore dello specchio di scansione sono praticamente uguali. Nelle Tabelle D.32 - D.33 sono tabulati i valori medi dei parametri elettrici del meccanismo di scan; questa caratterizzazione é importante per poter verificare il corretto movimento dello specchio di scansione durante le operazioni di VIRTIS-M a bordo di Rosetta.

	Teodolite		VIRTIS-M-VIS (b=100)	
Lampada	Azimuth (rad)	Zenith (rad)	Azimuth (rad)	Zenith (rad)
0	-0.0280610	-0.0274695	-0.027337734	-0.027471660
1	-0.0142002	-0.0274986	-0.013527219	-0.027588417
2	-0.000271499	-0.0277265	0.00022802735	-0.027572301
3	0.0135845	-0.0277948	0.013964852	-0.027551373
4	0.0274502	-0.0279640	0.027659738	-0.027512190
5	-0.0279495	-0.0136329	-0.027404709	-0.013774478
6	-0.0140111	-0.0137590	-0.013685391	-0.013759209
7	-7.26990e-5	-0.0138463	7.6152805e-5	-0.013767619
8	0.0136912	-0.0139966	0.013811577	-0.013762383
9	0.0275811	-0.0141517	0.027447290	-0.013660645
10	-0.0277455	0.000179410	-0.027506610	-1.5367509e-5
11	-0.0138850	0.000140548	-0.013854212	-2.3069383e-5
12	0.000000	0.000000	0.00000000	0.00000000
13	0.0139190	-9.69172e-5	0.013614140	4.2291643e-5
14	0.0276635	-0.000290871	0.027336118	0.00018225671
15	n.a.	n.a.	-0.027454586	0.013890666
16	-0.0276877	0.0140934	-0.013732085	0.013826190
17	0.000116400	0.0139335	-6.8317417e-5	0.013868018
18	0.0139190	0.0137881	0.013707009	0.013906981
19	0.0277508	0.0135603	0.027315729	0.014137755
20	-0.0274695	0.0278865	-0.027314761	0.027557552
21	-0.0137056	0.0277700	-0.013689843	0.027635692
22	0.000247302	0.0276247	8.0476765e-5	0.027762847
23	0.0141081	0.0274986	0.013704682	0.027863346
24	0.0278574	0.0273775	0.027417844	0.027929492

Tabella 4.11: *Registrazione spaziale di VIRTIS-M-VIS: posizioni angolari delle 25 microlampade rispetto alla centrale. Gli angoli assoluti, misurati con il teodolite, sono confrontati con i valori misurati sull'acquisizione di VIRTIS-M-VIS alla band=100. In Figura 4.23 sono graficate le posizioni assolute e misurate.*

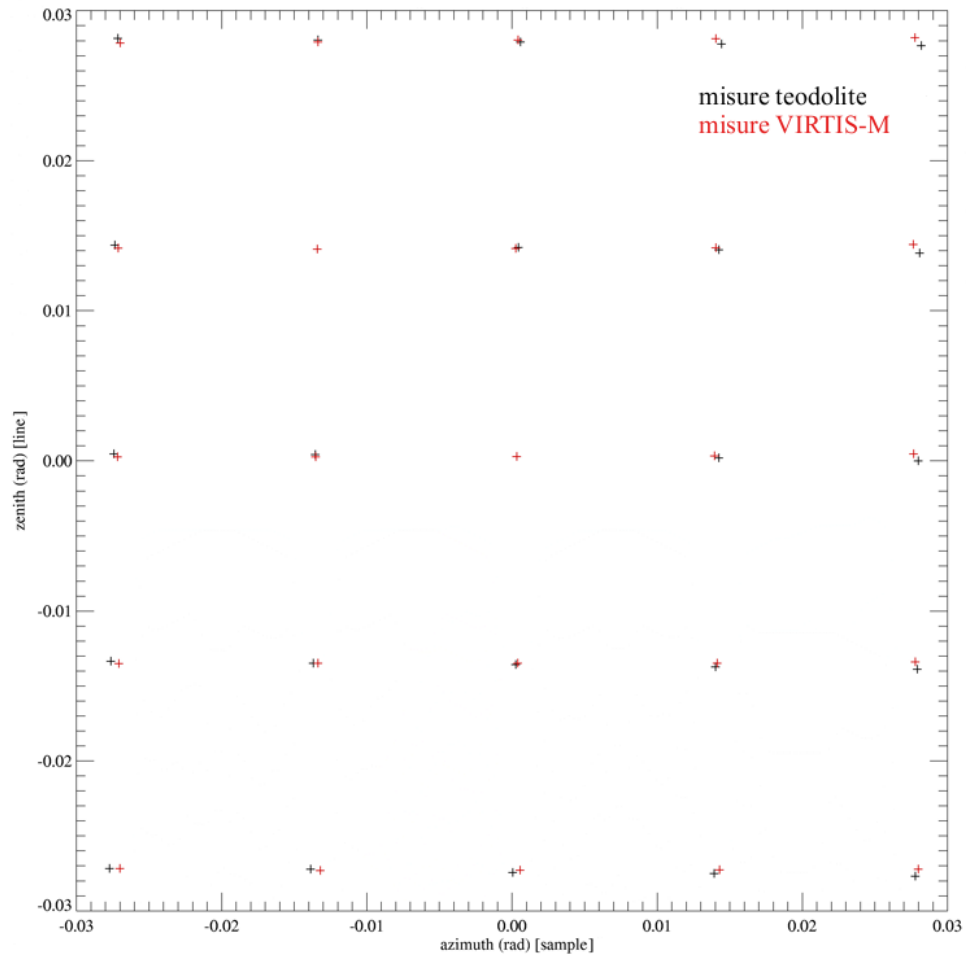


Figura 4.23: Confronto tra le posizioni angolari delle 25 microlampade acquisite dal canale VIS ($band=100$) di VIRTIS-M con la misura fatta con il teodolite.

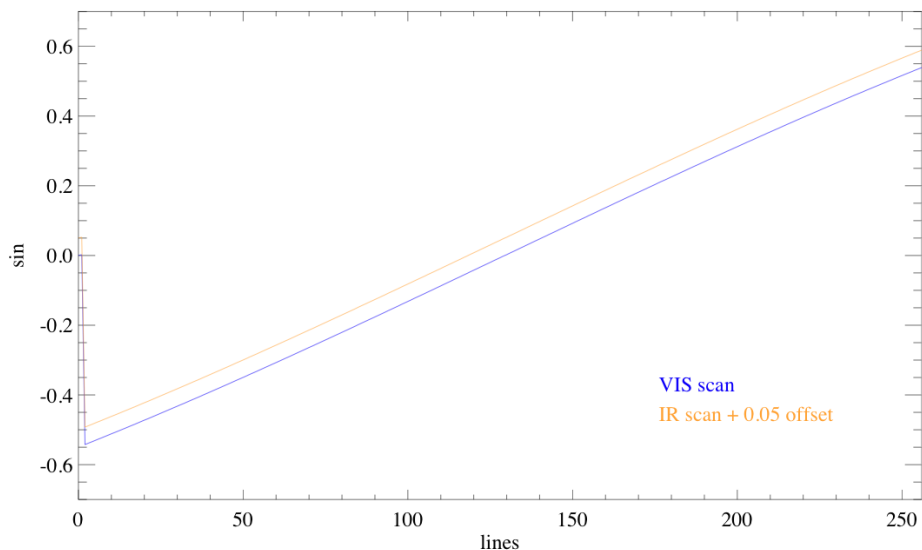


Figura 4.24: Caratterizzazione del seno dell'angolo elettrico comandato al motore dello specchio di scansione M1 di VIRTIS-M per una scansione completa di 256 lines. I valori relativi alle due sessioni di acquisizione -VIS ed -IR (graficato con un offset) del target con le 25 microlampade sono identici.

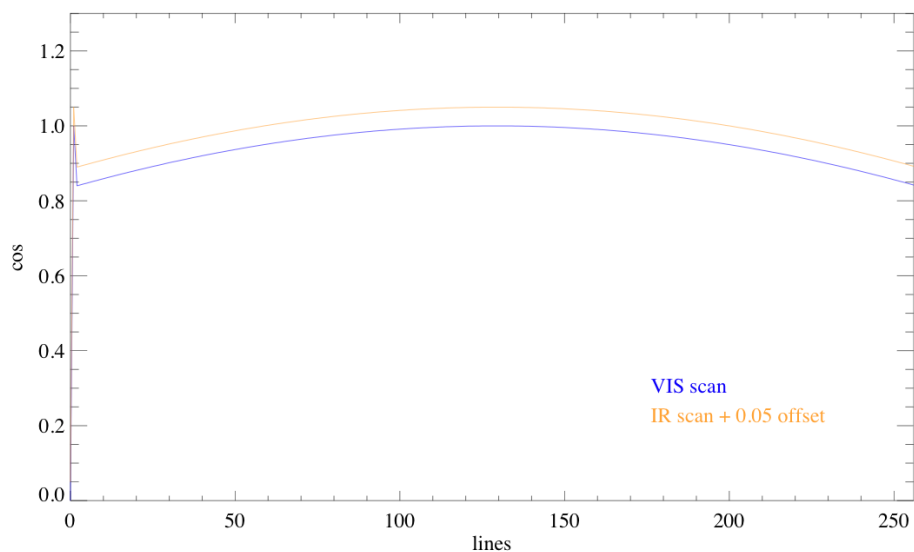


Figura 4.25: Caratterizzazione del coseno dell'angolo elettrico comandato al motore dello specchio di scansione M1 di VIRTIS-M per una scansione completa di 256 lines. I valori relativi alle due sessioni di acquisizione -VIS ed -IR (graficato con un offset) del target con le 25 microlampade sono identici.

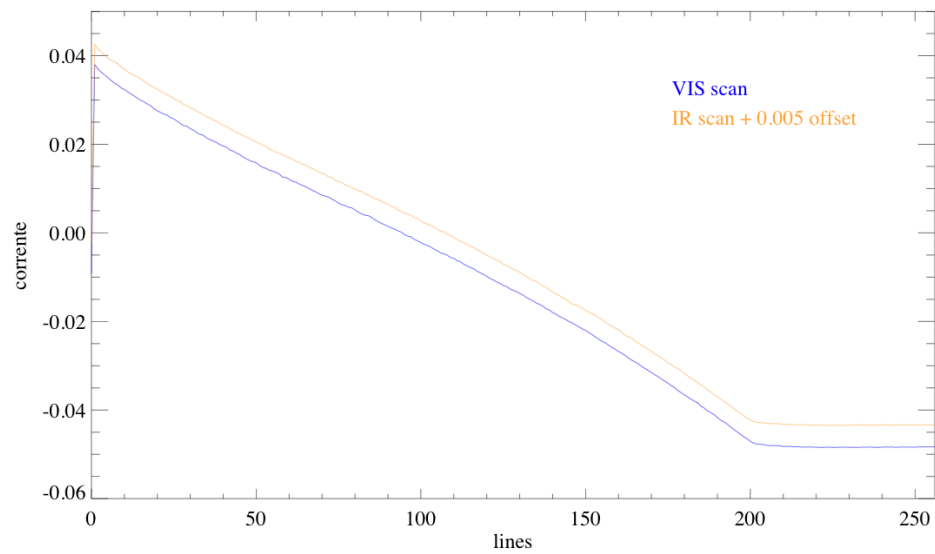


Figura 4.26: Caratterizzazione della corrente assorbita dal motore dello specchio di scansione M1 di VIRTIS-M per una scansione completa di 256 lines. I valori relativi alle due sessioni di acquisizione -VIS ed -IR (graficato con un offset) del target con le 25 microlampade sono identici.

4.4 Calibrazioni spaziali

Lo scopo delle calibrazioni spaziali é quello di determinare la matrice di flat-field necessaria alla normalizzazione della risposta dei pixel sul piano focale; mentre nelle camere il flat-field viene applicato su un sensore bidimensionale che contiene l'informazione spaziale lungo le due dimensioni, nel caso degli spettrometri ad immagine si unisce all'informazione spaziale anche quella spettrale. Tradizionalmente il flat-field viene determinato mediante l'acquisizione di una sorgente spazialmente uniforme ed omogenea (ad esempio uno schermo lambertiano illuminato da una sorgente diffusa) su tutto il campo di vista da usarsi come riferimento per tutti i pixel del sensore: in questo modo, supponendo che il flusso in ingresso sia lo stesso per tutti i pixel, é possibile misurare le variazioni relative del segnale in uscita; queste variazioni sono dovute sia alle disomogeneità intrinseche tra i pixel sia alla differente risposta angolare dello strumento (Grum & Becherer, 1979). Nel caso degli spettrometri ad immagine si rende necessario un setup di misura che sia in grado non solo di garantire una elevata omogeneità spaziale ma anche un flusso di fotoni sull'intero intervallo spettrale dello strumento. Nel caso di VIRTIS-M questo é stato fatto sia ottimizzando le sorgenti impiegate nel VIS e nell'IR sia impiegando un metodo di misura capace di garantire un'elevata omogeneità spaziale del segnale in ingresso lungo l'asse della fenditura. Poiché esistono alcune differenze e peculiarità tra le misure compiute per i due canali si é preferito separare nelle due sezioni seguenti la descrizione del flat field visibile ed infrarosso.

4.4.1 Flat-field visibile

Il setup sperimentale usato per la misura del flat-field visibile si basa sull'acquisizione del segnale diffuso da uno schermo lambertiano posto al piano focale del collimatore off-axis (Figura 4.27). Lo schermo, trattato con un coating al solfato di bario (BaSO) é illuminato da una lampada QTH da 50 W stabilizzata radiometricamente. La luce emessa dalla sorgente viene defocalizzata da un sistema ottico posto all'uscita dell'illuminatore in modo da generare un'immagine completamente incoerente del filamento. Questo accorgimento é necessario per ottenere un fascio di illuminazione sullo schermo con un'elevata omogeneità spaziale. Durante tutta la durata dell'acquisizione un sistema controreazionato controlla in tempo reale il flusso emesso dalla sorgente: il segnale generato da un fotodiodo pilota viene usato per monitorare la corrente di alimentatore della lampada. Al fine di incrementare ulteriormente l'uniformità spaziale dello schermo si é deciso di impiegare un metodo di misura che sfruttasse appieno le capacità ottiche del setup: mediante la rotazione azimuthale dello specchio di ripiegamento del collimatore é possibile muovere il FOV dello strumento a step di $250 \mu\text{rad}$ (1 IFOV nominale). Facendo una scansione di 256 step e ripetendo l'acquisizione ad ogni step si riesce ad acquisire lo stesso punto dello schermo con tutti i punti della fenditura. Ed avendo illuminato completamente la fenditura si hanno 256 matrici di flat field, ciascuna ottenuta in maniera indipendente su 256 punti consecutivi di $250 \times 250 \mu\text{rad}$ allineati lungo l'orizzontale dello schermo. La media di tutti i frames di flat-field é mostrata in Figura 4.28 insieme al profilo spettrale al sample $s^* = 128$ (centro fenditura) utilizzato per normalizzare il segnale. La matrice di flat-field (pannello superiore in Figura 4.30) si ottiene dividendo il segnale misurato sul generico pixel $\text{DN}(b,s)$ per il segnale alla stessa banda b misurato sul centro della fenditura $s^* = 128$:

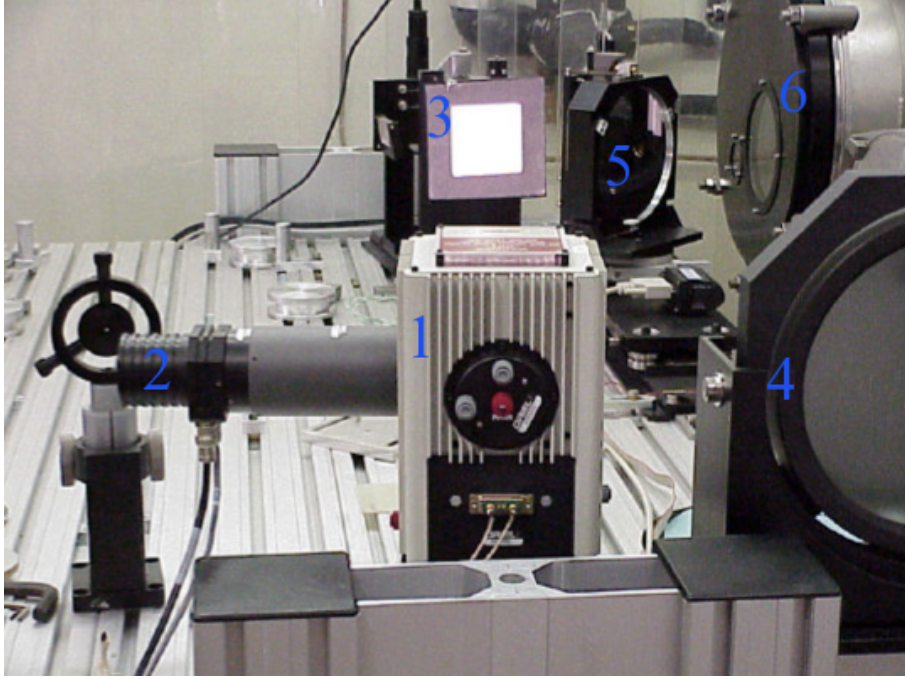


Figura 4.27: Setup di misura del flat-field per VIRTIS-M-VIS: 1) illuminatore con lampada QTH; 2) controllo radiometrico della lampada; 3) target lambertiano illuminato dalla sorgente posto al fuoco del collimatore; 4) parabola off axis del collimatore; 5) folding mirror usato per fare la scansione spaziale sul target; 6) finestra ottica del termovuoto contenente VIRTIS-M.

$$flat\ field(s,b) = \frac{DN(b,s)}{DN(b,s^*)} \quad (4.12)$$

In conseguenza di questa normalizzazione il flat field é uguale ad 1 per tutti i canali spettrali sul sample corrispondente al centro della fenditura mentre contiene le variazioni relative rispetto a questo nei restanti pixel. Valori negativi sono generalmente ottenuti in corrispondenza dei pixel difettosi del piano focale. Le distribuzioni di strutture verticali attorno alle band=160, 270, 300, 370 e simmetriche rispetto al centro fenditura sono caratteristiche del disegno ottico Shafer-Offner dell'esperimento; un risultato analogo si ottiene anche nel flat di Cassini VIMS-V (vedi ad esempio la Figura 2.10). Sul frame di flat-field é possibile infine individuare alcune strutture circolari, come quelle cantrata a (b=80, s=220), dovute a disomogeneità costruttive del piano focale.

4.4.2 Flat-field infrarosso

La determinazione del flat-field del canale IR é concettualmente analoga a quella del canale VIS; tuttavia sono presenti alcune differenze sperimentali dovute alla mancanza di una sorgente che sia in grado di garantire un sufficiente flusso fotonico sul range spettrale da 1000 a 5000 nm. La lampada QTH infatti é utilizzabile soltanto per le prime 180 bande ($\lambda=2690.66$ nm) per cui il setup é sostanzialmente analogo a quello precedentemente descritto. La ma-

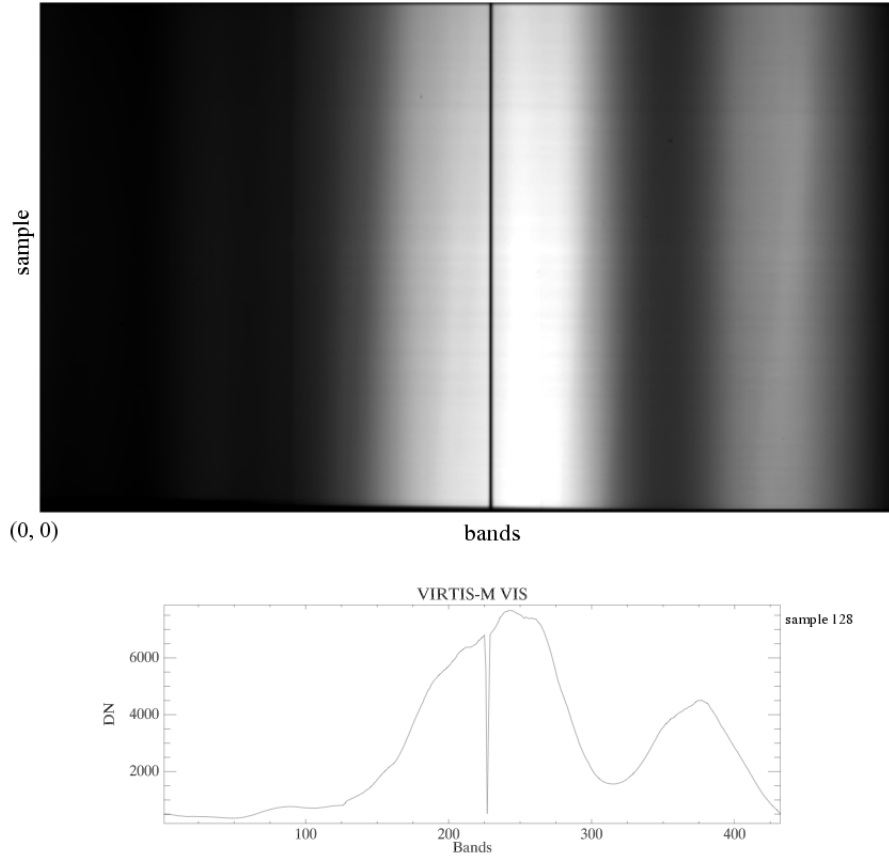


Figura 4.28: Ricostruzione del segnale di flat-field per VIRTIS-M-VIS. Alto: il segnale sul frame é ottenuto dall'acquisizione dello schermo lambertiano illuminato dalla lampada QTH; si noti la giunzione tra i due filtri d'ordine posti sulla finestra della CCD attorno alla $b=226$. Basso: variazione spettrale del segnale $DN(b, s^*)$ al centro fenditura ($s^*=128$); questo spettro é utilizzato per normalizzare il segnale secondo l'equazione 4.12. I principali dati statistici del segnale (in DN) di flat field VIS sono: $\min = -0.6498$; $\max = 7946.7432$; $\text{media} = 2733.6044$; $\text{deviazione standard} = 2240.5272$.

trice di flat nell'intervallo $180 \leq b \leq 431$ é invece calcolata mediante l'acquisizione di un corpo nero freddo che sostituisce il precedente schermo lambertiano posto sul piano focale del collimatore. Il corpo nero, avente una superficie di circa $15 \times 15 \text{ cm}^2$ é pertanto in grado di coprire l'intera estensione della fenditura dello spettroscopio. Secondo le indicazioni del costruttore del corpo nero, la superficie emittente ha una temperatura altamente omogenea ed uniforme (variazioni dell'ordine di 1 K): in conseguenza di ciò é possibile utilizzare questa sorgente per le misure di flat field. Durante le misure la temperatura del corpo nero é stata progressivamente aumentata partendo da circa 320 K in modo tale da avere un buon segnale su tutto il range infrarosso. In tutto sono state effettuate 20 acquisizioni, le prime 10 a bassa temperatura, utilizzabili nel range $331 \leq b \leq 431$ e le rimanenti 10 ad alta temperatura in

cui si ha segnale nel range $180 \leq b \leq 330$. In questo secondo caso il segnale sulle $b \geq 330$ é in saturazione. Sfortunatamente il segnale attorno alla $b = 180$ é sempre molto basso essendo limitato il flusso fotonico sia della lampada QTH che del corpo nero. Per questo motivo il flat field presenta una maggiore incertezza in questa regione spettrale. In Figura 4.29 é mostrato il frame ricostruito del segnale della lampada QTH e del corpo nero a due temperature impiegato per la determinazione del flat field IR.

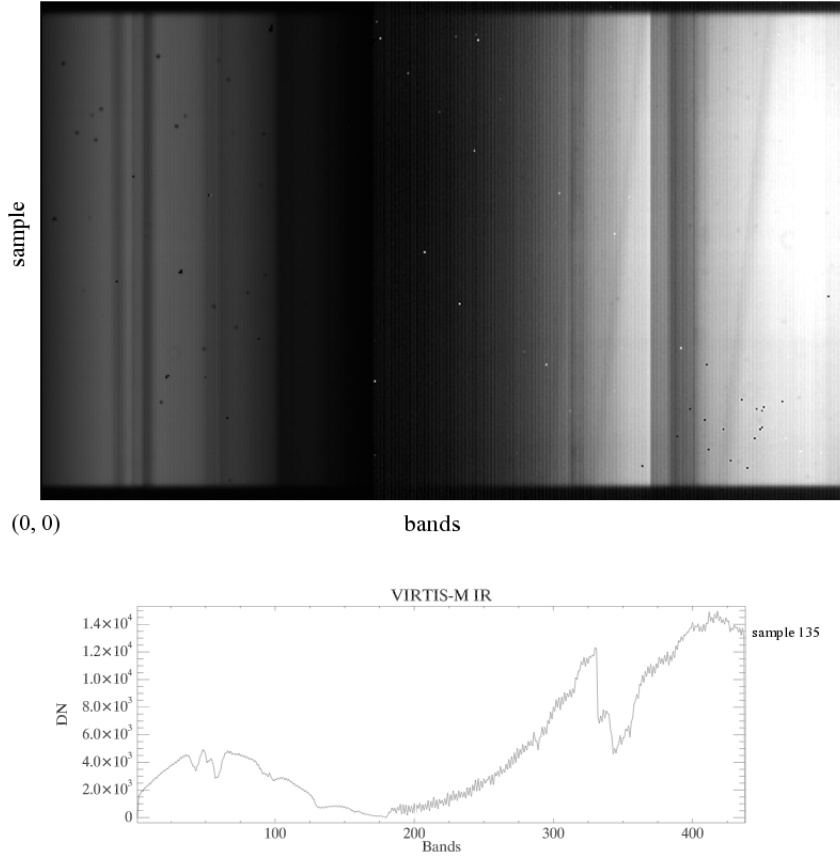


Figura 4.29: Ricostruzione del segnale di flat-field per VIRTIS-M-IR. Alto: il segnale sul frame é ottenuto dall'acquisizione dello schermo lambertiano illuminato dalla lampada QTH nel range $0 \leq band \leq 180$ e del corpo nero nel range $181 \leq band \leq 432$. Basso: variazione spettrale del segnale $DN(b, s^*)$ al centro fenditura ($s^*=135$); questo spettro é utilizzato per normalizzare il segnale secondo l'equazione 4.12. Si noti il basso segnale nella zona di giunzione, attorno alla $b=180$, e l'intensa riga di assorbimento della CO_2 atmosferica a 4260 nm ($b=345$). I principali dati statistici del segnale (in DN) del flat field IR sono: min = -6974.1401; max = 19517.3599; media = 4684.8263; deviazione standard = 4178.5521.

Mediante la normalizzazione al centro slit (equazione 4.12, sample $s^*=135$) si ottiene la matrice di flat field IR graficata nel pannello inferiore della Figura 4.30. Anche per il canale IR valgono i commenti fatti in precedenza per il VIS sui pixel difettosi e le strutture verticali.

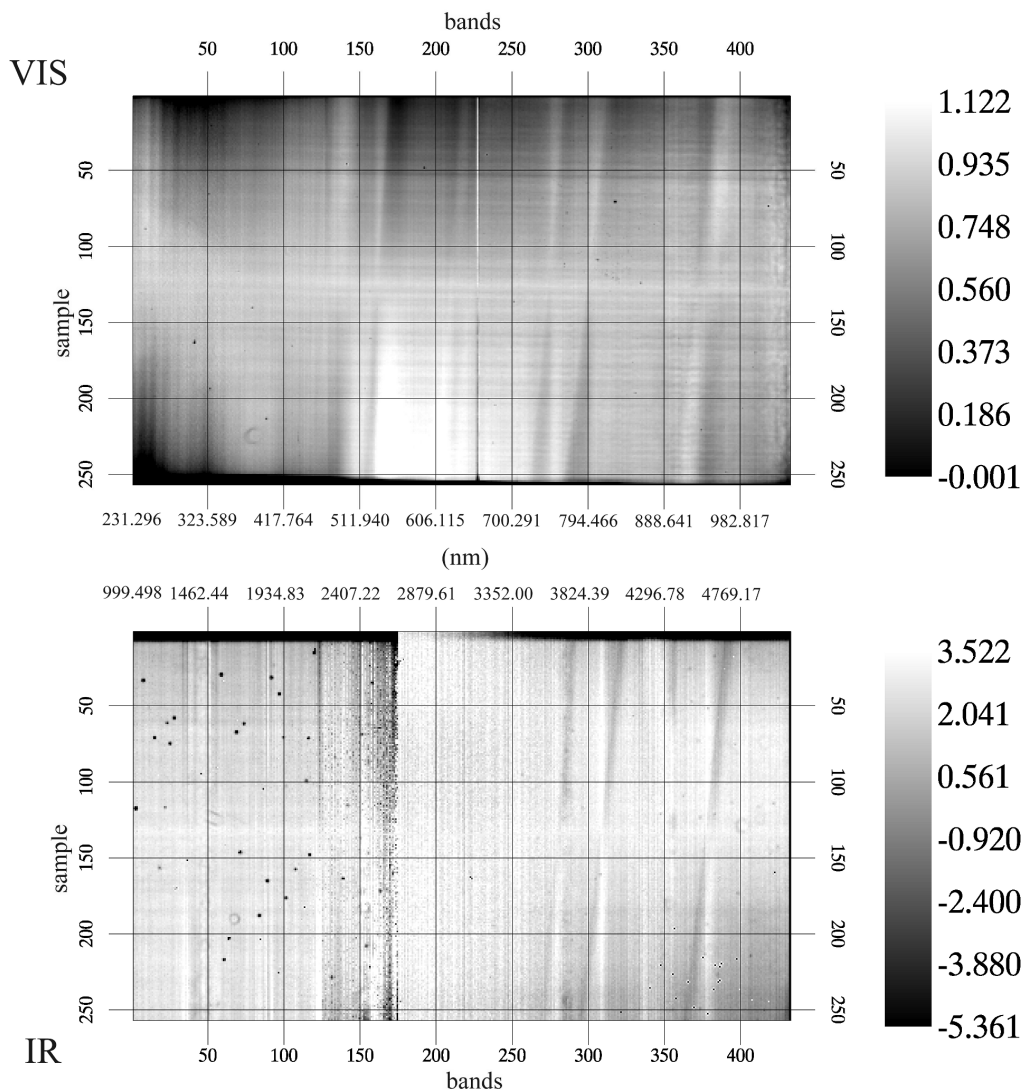


Figura 4.30: Matrici di flat field di VIRTIS-M. Alto: flat field VIS; parametri statistici: $\min = -0.0007$; $\max = 1.1216$; $\text{media} = 0.9470$; $\text{deviazione standard} = 0.1088$. Basso: flat field IR; parametri statistici: $\min = -5.3605$; $\max = 3.5215$; $\text{media} = 0.9484$; $\text{deviazione standard} = 0.1542$.

4.5 Limitazioni spettroradiometriche del canale -VIS

Prima di procedere con la descrizione delle metodologie impiegate per la misura della calibrazione radiometrica si rende necessario considerare un effetto strumentale, la contaminazione del segnale del canale -VIS da parte degli ordini superiori generati dal reticolo -IR, che limita l'accuratezza spettroradiometrica di VIRTIS. Questo effetto, non previsto nella configurazione strumentale nominale, è stato osservato soltanto ad integrazione completa quando non era più possibile intervenire sullo strumento; per questo motivo non si è potuto far altro che

indagare le cause all'origine di questo fenomeno e le possibili soluzioni da applicare in fase di calibrazione dei dati per limitarne gli effetti.

Il reticolo di diffrazione segue la legge di dispersione angolare (equazione 1.5) precedentemente descritta nel capitolo dedicato a VIMS-V. Nel caso di VIRTIS-M il reticolo possiede due regioni spettrali dedicate rispettivamente al canale VIS ed all'IR, ciascuna delle quali con una diversa legge di dispersione. Secondo le specifiche ottiche, il piano focale visibile dovrebbe raccogliere la sola luce diffratta dalla regione centrale del reticolo sull'ordine -1 mentre il piano focale infrarosso la luce diffratta dalla corona circolare esterna del reticolo sull'ordine +1 (vedi 3.1.2). Il fatto che il reticolo sia stato costruito con una densità delle linee del reticolo IR pari ad 1/5 di quelle VIS comporta da un lato che la risoluzione spettrale IR sia 5 volte quella VIS (9.3 vs 1.87 nm/band) e dall'altro il fatto che l'ordine -5 dell'IR si sovrapponga al -1 del VIS. Dall'analisi di diversi tipi di dati acquisiti (lampade spettrali, scansioni con il monocromatore), si é potuto constatare che il piano focale -VIS viene raggiunto anche dalla luce dispersa dal reticolo -IR sugli ordini -1÷-8 secondo le seguenti relazioni di dispersione:

$$\lambda_{-1}^{VIS}(b) = 224.8 + 1.89 \cdot b \quad (4.13)$$

$$\lambda_{-2}^{IR}(b) = 562.0 + 4.72 \cdot b \quad (4.14)$$

$$\lambda_{-3}^{IR}(b) = 374.7 + 3.14 \cdot b \quad (4.15)$$

$$\lambda_{-4}^{IR}(b) = 281.0 + 2.36 \cdot b \quad (4.16)$$

$$\lambda_{-5}^{IR}(b) = 224.8 + 1.89 \cdot b = \lambda_{-1}^{VIS} \quad (4.17)$$

$$\lambda_{-6}^{IR}(b) = 187.4 + 1.57 \cdot b \quad (4.18)$$

$$\lambda_{-7}^{IR}(b) = 160.1 + 1.35 \cdot b \quad (4.19)$$

$$\lambda_{-8}^{IR}(b) = 140.1 + 1.18 \cdot b \quad (4.20)$$

Se lo strumento viene quindi stimolato con una luce monocromatica alla banda b si osservano anche i diversi ordini superiori sulle bande riportate nelle tabelle D.34 ÷ D.41. Ad esempio se in ingresso si ha una luce monocromatica alla $b=200$ si osserva un segnale anche alle $b=7\div9$ dovuto all'ordine -2 IR, alle $b=71\div73$ (-3 IR), $b=134\div136$ (-4 IR), $b=263\div265$ (-6 IR), $b=326\div328$ (-7 IR) e $b=390\div392$ (-8 IR) (vedi Tabella D.37). La presenza dei filtri d'ordine sulla CCD (vedi Figura 3.10) e le dimensioni fisiche del sensore limitano la comparsa di alcuni di questi ordini. Il filtro FUV (passa alto, trasmissione per $\lambda > 250 \text{ nm}$) é posto sulla regione della CCD compreso tra le band $0 \leq bands \leq 215$ mentre il filtro FIR (passa alto, trasmissione per $\lambda > 555 \text{ nm}$ é posto sulle $215 \leq bands \leq 438$); i canali interessati dai filtri FUV-FIR sono indicati rispettivamente in blu e rosso sulla prima colonna delle tabelle D.34 ÷ D.41). Le posizioni degli ordini assorbiti dal filtro FUV sono indicate in magenta: queste sono l'ordine -8 IR, generato da luce in input compresa nel range $66 \leq b \leq 175$, l'ordine -7 IR nel range $92 \leq b \leq 175$ e l'ordine -6 IR nel range $127 \leq b \leq 175$. Infine in verde sono codificate le posizioni degli ordini che cadono al di fuori del piano focale, ovvero $0 \leq b \leq 177$ per il -2 IR, $0 \leq b \leq 78$ per il -3 IR, $0 \leq b \leq 177$ per il -3 IR, $0 \leq b \leq 29$ per il -4 IR, $344 \leq b \leq 437$ per il -6 IR, $279 \leq b \leq 437$ per il -7 IR, $228 \leq b \leq 437$ per il -8 IR. Questo effetto é stato effettivamente verificato su due diverse serie di misure fatte durante la calibrazione a terra di VIRTIS-M in cui sono stati impiegati:

- lampada spettrale (Hg);

- monocromatore: scan da 380 a 1100 nm, 2 nm/step, 360 step.

Nei due paragrafi seguenti saranno descritte queste due misure e verrà discusso l'effetto di contaminazione visibile nei due casi.

4.5.1 Acquisizione lampada spettrale Hg

La lampada spettrale ai vapori di mercurio é una fondamentale sorgente di riferimento spettrale. I vapori di mercurio scaldati da un filamento emettono delle intense righe di emissione nel visibile e nel vicino infrarosso che corrispondono a diverse transizioni elettroniche. Le righe di emissione più intense sono nel range blu-ultravioletto. La lampada, mediante un condensatore, illumina una fenditura posta al piano focale del collimatore; l'immagine della fenditura viene acquisita in corrispondenza dell'asse ottico di VIRTIS-M (vedi Figura 4.31).

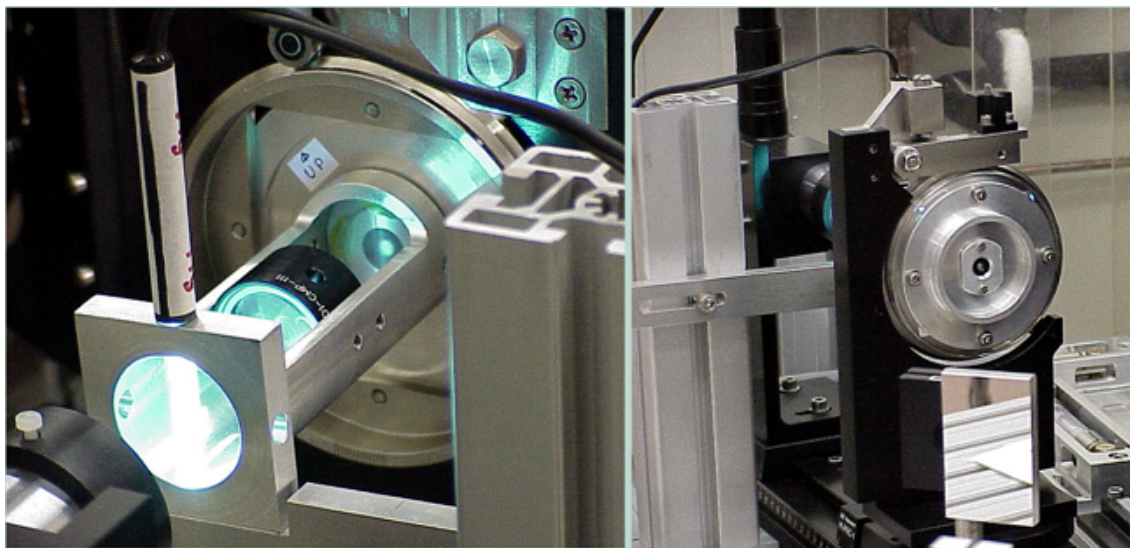


Figura 4.31: Lampada spettrale Hg utilizzata per la misura della contaminazione del segnale -VIS da parte degli ordini superiori del reticolo -IR. Sinistra: lampada e condensatore. Destra: fenditura illuminata dalla lampada posta al piano focale del collimatore.

Il costruttore della lampada spettrale Hg garantisce la presenza delle seguenti 26 righe di emissione all'interno del range spettrale di VIRTIS-M: 253.65 (Hg #1), 296.72 (Hg #2), 302.15 (Hg #3), 312.57 (Hg #4), 313.18 (Hg #5), 334.14 (Hg #6), 365.01 (Hg #7), 365.48 (Hg #8), 366.32 (Hg #9), 404.65 (Hg #10), 407.78 (Hg #11), 435.83 (Hg #12), 546.07 (Hg #13), 576.96 (Hg #14), 579.07 (Hg #15), 1013.98 (Hg #16), 1128.74 (Hg #17), 1320.99 (Hg #18), 1342.66 (Hg #19), 1357.02 (Hg #20), 1367.35 (Hg #21), 1395.06 (Hg #22), 1529.58 (Hg #23), 1688.15 (Hg #24), 1692.02 (Hg #25), 1694.20 (Hg #26), 1707.28 (Hg #27) e 1710.99 nm (Hg #28). Applicando la calibrazione spettrale (tabelle D.10, D.11) le righe di emissione risultano essere correttamente identificate sui due canali di VIRTIS-M. Sul segnale -VIS (Figura 4.32) sono inoltre visibili anche diverse righe corrispondenti agli ordini superiori delle righe Hg #12 ÷ 16: le posizioni di quest'ultime seguono le relazioni 4.13 - 4.20 riportate nelle tabelle D.34 - D.41. Le righe a 915 e 970 nm, assenti nello spettro del mercurio, sono

comunque generate dalla lampada (la loro esistenza é stata verificata indipendentemente con un altro spettrometro): probabilmente sono dovute a qualche tipo di contaminazione che é intervenuto nel gas della lampada. Le rimanenti righe a bassa intensità distribuite tra 740 e 850 nm sono compatibili sia con gli ordini delle due precedenti sia con gli ordini superiori al -8 IR. L'intensità delle righe degli ordini sono tutte molto deboli, raggiungendo al massimo valori di circa 1/1000 rispetto al massimo del segnale sulla riga a 546.07 nm (Hg #13). Per quanto in generale siano poco intense é infine possibile notare dall'immagine del frame come le righe degli ordini superiori non presentino il tilt spettrale come invece quelle dell'ordine principale - 1 VIS.

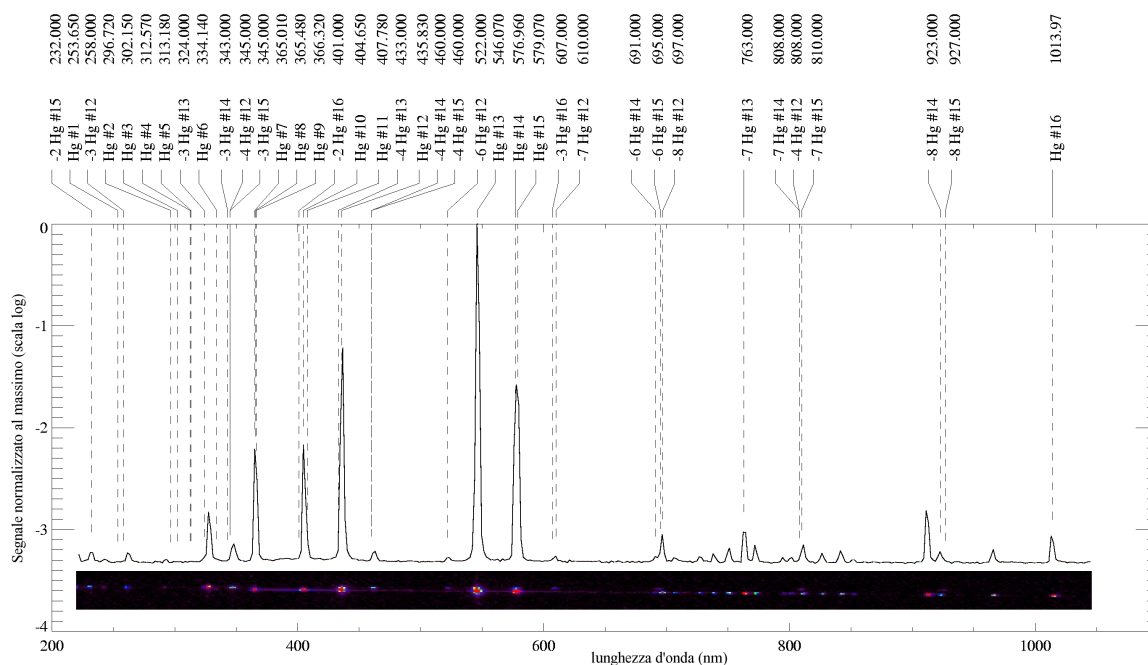


Figura 4.32: Acquisizione della lampada spettrale Hg: verifica della calibrazione spettrale e della contaminazione degli ordini sul canale VIS. Alto: segnale risultante dalla media di 8 sample (per compensare l'effetto del tilt spettrale) normalizzato al massimo sul picco a 546 nm. Le righe di emissione della lampada ed i corrispondenti picchi dovuti agli ordini sono indicati in funzione della lunghezza d'onda. Basso: immagine ridotta del frame (circa 20 samples) contenente il segnale osservato. Si noti l'effetto del tilt spettrale che all'aumentare della lunghezza d'onda sposta la posizione degli spot verso il basso.

Lo spettro della lampada spettrale sul canale -IR (Figura 4.33) é utilizzabile soltanto fino a circa 2950 nm; a lunghezze d'onda maggiori infatti il background diventa saturo. Nel range 1000-2950 nm sono tuttavia identificabili le righe di emissione Hg #16-28. A differenza del canale -VIS, in questo caso non sono visibili né ordini superiori né tantomeno l'effetto del tilt spettrale.

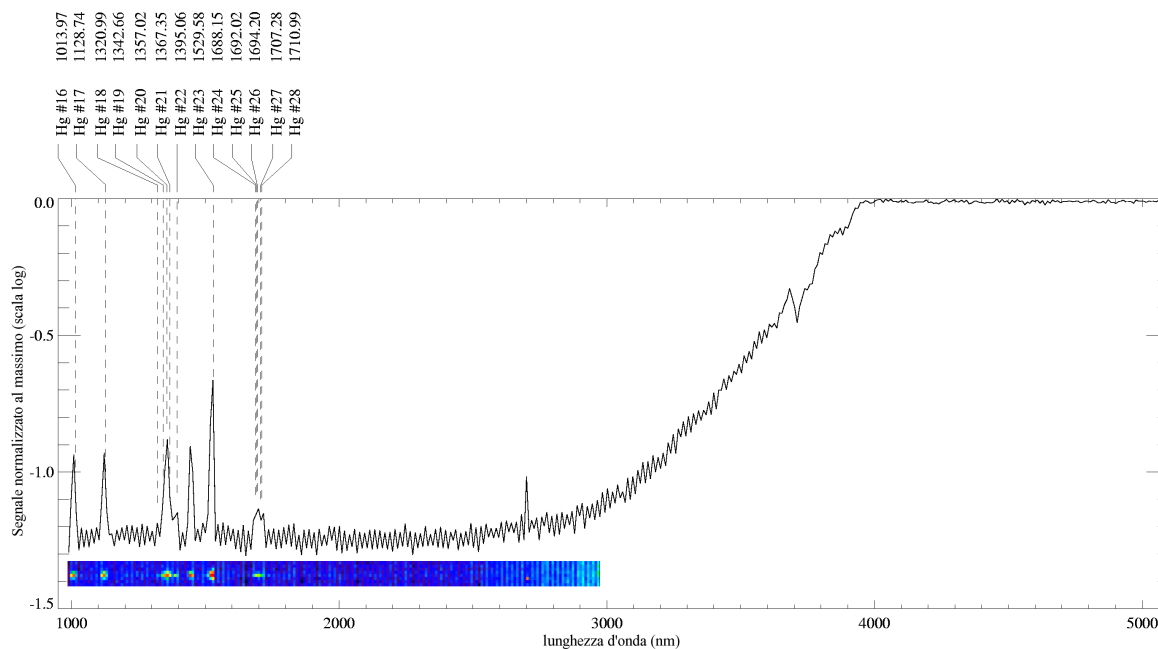


Figura 4.33: Acquisizione della lampada spettrale Hg: verifica della calibrazione spettrale sul canale IR. Alto: segnale normalizzato al massimo (oltre 4000 nm, regione in cui si ha la saturazione del background). Le righe di emissione della lampada (16-28) sono indicate in funzione della lunghezza d'onda. Basso: immagine ridotta del frame (circa 20 samples fino a 2950 nm) contenente il segnale osservato. Si noti la completa assenza del tilt spettrale evidenziata dal perfetto allineamento dei centri degli spot sull'immagine.

4.5.2 Acquisizione scansione monocromatore

Per poter meglio quantificare l'effetto della contaminazione del segnale -VIS da parte degli ordini -IR si è analizzata una misura inizialmente programmata per la determinazione della risposta radiometrica dello strumento; la misura consiste in una scansione fatta con il monocromatore sull'intero range spettrale di VIRTIS-M da 360 a 1060 nm a step di 2 nm (350 step). La fenditura di ingresso del monocromatore è illuminata da una lampada QTH da 150 W; la larghezza delle fenditure di ingresso e di uscita del monocromatore sono fissate in modo tale da avere un fascio monocromatico con una banda passante di 2 nm. VIRTIS-M acquisisce la luce proveniente da un target diffusivo (superficie di alluminio pallinata con coating in nickel) posto sul piano focale del collimatore ed illuminato dal fascio in uscita del monocromatore; la luce emessa dal monocromatore illumina in maniera uniforme il target mediante un sistema di specchi di rimando che funzionano da collimatore. Durante la scansione si muove solo il reticolo del monocromatore essendo fisso sia lo specchio di scan M1 sul boresight sia il folding mirror del collimatore su un angolo a 45°. Durante lo scan inoltre, ogni 80 step (40 nm), viene misurata la radianza emessa dal target diffusivo ruotando il folding mirror in corrispondenza di un fotodiodo calibrato avente lo stesso IFOV di VIRTIS-M. Conoscendo i parametri elettrici del fotodiodo (guadagno e sensitivity) ed integrando il segnale chopperato dal fotodiodo e processato da un amplificatore lock-in è possibile misurare la radianza ($Wcm^{-2}nm^{-1}sterad^{-1}$) emessa dal target ad una fissata lunghezza d'onda. Questo metodo di caratterizzazione radiometrica è risultato essere non adatto a causa della presenza degli ordini che degradano il segnale acquisito. Infatti ad ogni step del monocromatore VIRTIS-M dovrebbe misurare un segnale largo circa 1 band ed esteso circa 256 sample che si muove spettralmente durante lo scan. Ma dall'analisi dei frame registrati la situazione è molto più complicata di questa: infatti, come risulta dalla Figura 4.34 sui frame delle acquisizioni sono presenti:

- segnale del monocromatore disperso sull'ordine -1 VIS -5 IR, esteso su tutta la fenditura ed indicato da una freccia sulla sequenza delle acquisizioni a 380, 480, 580, 680, 780, 880, 980, 1046 nm (pannello in alto della Figura 4.34);
- segnale del monocromatore disperso sugli ordini superiori: linee verticali parallele all'ordine -1 VIS -5 IR estese su tutta la fenditura;
- segnale spurio dovuto a riflessioni interne al monocromatore: linea obliqua, quindi colorata, estesa circa 80 samples, particolarmente evidente sui frame a 880, 980, 1046 nm;
- ordini superiori del segnale spurio dovuto a riflessioni interne al monocromatore: linee oblique estese circa 80 samples, particolarmente evidenti sui frame a 880, 980, 1046 nm;

Chiaramente questi effetti, in parte dovuti a VIRTIS-M ed in parte al setup sperimentale (ossia al monocromatore) rendono assai critica la misura della responsività in quanto parte dell'energia in ingresso viene dissipata internamente sugli ordini. Queste motivazioni sono alla base della scelta di procedere con un metodo alternativo alla misura della performances radiometriche dello strumento, come verrà di seguito descritto nella sezione 4.6.1. D'altra parte questi dati forniscono una visione completa della contaminazione da parte degli ordini

superiori in quanto é possibile misurarne il segnale medio rispetto all'ordine principale -1 VIS -5 IR su tutto il range spettrale. Prima di fare questo però é stato necessario rimuovere gli effetti del campionamento: mediante un fit gaussiano, che ben si presta ad interpolare il profilo del segnale del monocromatore, si é ricostruito il passaggio del segnale del monocromatore (step di 2 nm) su ciascuna banda di VIRTIS-M-VIS (intervallo spettrale 1.86 nm). Da questa elaborazione é stato ricavato il segnale medio (lungo i sample) dell'ordine principale e degli ordini superiori ad ogni lunghezza d'onda della luce in ingresso. I risultati sono riportati nelle tabelle D.42 - D.48. Le posizioni spettrali su cui ricadono gli ordini superiori sono quelle indicate nelle tabelle D.34 - D.41. Ad esempio quando sulla band=200 (vedi tabelle D.44 - D.37) si misura un segnale di ≈ 30206 DN corrispondente all'ordine -1 VIS -5 IR, sull'ordine -2 IR posto alla band=8 si hanno ≈ 574 DN, sull'ordine -3 IR alla band=72 si hanno ≈ 939 DN, sull'ordine -4 IR alla band=135 si hanno ≈ 887 DN, sull'ordine -6 IR alla band=264 si hanno ≈ 519 DN, sull'ordine -7 IR alla band=327 si hanno ≈ 323 DN ed infine sull'ordine -8 IR alla band=391 si hanno ≈ 255 DN.

Per poter valutare l'effetto cumulativo di perdita del segnale dell'ordine principale da parte degli ordini superiori si riporta in Figura 4.35 un grafico dei due termini. Attorno alla $b=200$, a fronte di un segnale di ≈ 30200 DN si hanno ≈ 3400 DN dispersi sui diversi ordini, pari all'11.2%.

L'intensità del segnale generato dai singoli ordini durante la scansione con il monocromatore sono riportati in Figura 4.36. All'estremo infrarosso del range spettrale il contributo degli ordini diventa predominante raggiungendo circa il 30% del segnale dell'ordine principale.

4.5.3 Algoritmo di correzione dell'effetto degli ordini

Le misure precedentemente descritte possono essere utilizzate in linea di principio per realizzare un algoritmo di correzione dell'effetto degli ordini. Ciascun ordine superiore IR infatti contribuisce con un peso $P_i^{IR}(b)$ al segnale $DN_{TOT}(b)$ misurato alla band b secondo l'equazione:

$$DN_{TOT}(b) = DN_{-1}^{VIS}(b) + \sum_{i=-2}^{-8} DN_i^{IR}(b) \quad (4.21)$$

dove il contributo dell' i -mo ordine IR ($i=2, 3, 4, 6, 7, 8$) può essere espresso come una frazione $P_i^{IR}(b)$ del segnale totale $DN_{TOT}(b_i(b))$ che cade sulla band b_i per ottenere un ordine alla band b :

$$DN_i^{IR}(b) = DN_{TOT}(b_i(b)) \cdot P_i^{IR}(b) \quad (4.22)$$

Per poter ricavare il segnale vero DN_{CORR} , corrispondente al solo ordine principale, é necessario risolvere un sistema di 256 (sample) equazioni in 359 (band) variabili ⁵.

$$DN_{TOT} = A \cdot DN_{CORR} \quad (4.23)$$

la matrice A contiene l'intero set di pesi spettrali ed é di 359×359 elementi. Poiché la matrice A non é singolare ($\det A \neq 0$, $Tr A \neq 0$), il precedente sistema di equazioni può essere

⁵La scansione fatta dal monocromatore copre infatti solo 359 bands, $77 < b < 437$.

invertito in modo tale da ricavare il segnale corretto DN_{CORR} di ciascun pixel del piano focale:

$$DN_{CORR} = A^{-1} \cdot DN_{TOT} \quad (4.24)$$

Questo metodo di inversione é formalmente e matematicamente corretto se applicato al segnale generato dalla regione del reticolo -IR; al momento tuttavia non é stato ancora possibile inserire un algoritmo di questo tipo all'interno della procedura di calibrazione dei dati del canale -VIS per i seguenti motivi:

- l'accuratezza con cui si conoscono i pesi $P_i^{IR}(b)$ non é sufficientemente elevata per poter completamente compensare l'effetto; la stima di queste grandezze é stata ricavata da misure non totalmente adatte a tale scopo;
- il segnale dovuto agli ordini -IR non é affetto dal tilt spettrale come invece quello dell'ordine principale -VIS; in linea di principio sarebbe quindi necessario poter discriminare tra queste due componenti in modo tale da poter correggere separatamente il solo tilt sull'immagine dell'ordine principale -VIS e compensare sull'immagine degli ordini -IR.

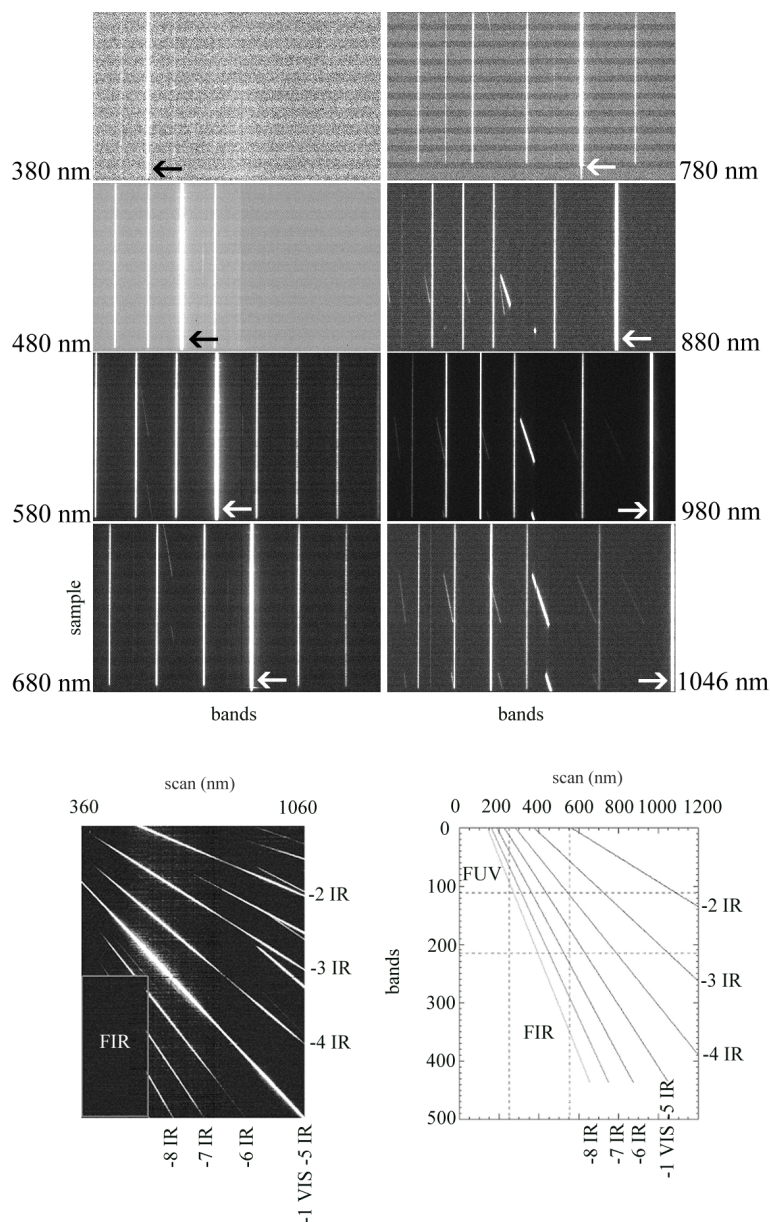


Figura 4.34: Sequenza dei frame di VIRTIS-M-VIS sulla scansione spettrale 360-1060 nm con il monocromatore. Alto: frame acquisiti sulle posizioni spettrali 380, 480, 580, 680, 780, 880, 980, 1046 nm del monocromatore; si noti il segnale del monocromatore, indicato dalla freccia, ed il pattern di righe verticali dovute agli ordini superiori. La riga colorata (essendo inclinata rispetto alla verticale) vicino al centro del frame presente sulle misure a 880, 980 e 1046 nm é dovuta ad una riflessione interna al monocromatore; anche questa genera un pattern di righe dovute agli ordini. Basso-sinistra: ricostruzione della slice di dimensioni bands \times scan, contenente il segnale osservato sul centro della fenditura ($s=127$) di VIRTIS-M-VIS al variare della λ del monocromatore. Sono indicate le linee del segnale principale -1 VIS -5 IR (lungo la diagonale) e quelle degli ordini superiori. Le righe spurie nella zona infrarossa (per posizioni dello scan $\lambda > 800$ nm) sono dovute a luce generata da riflessi interni al monocromatore. La regione rettangolare in basso a sinistra della slice corrisponde al filtro FIR che assorbe la luce di $\lambda < 555$ nm. Basso-destra: posizione teorica degli ordini sulla slice (equazioni 4.13 - 4.20).

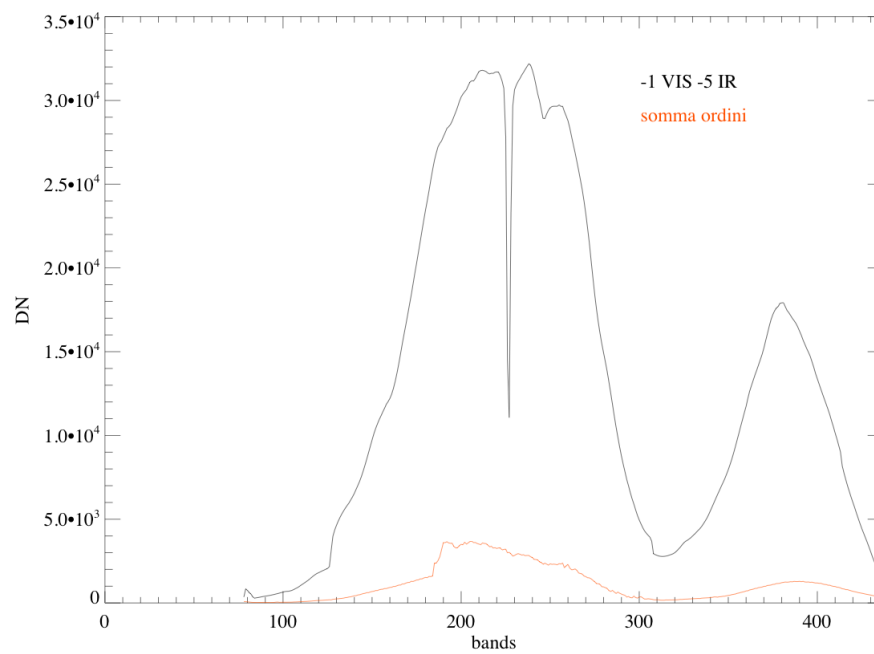


Figura 4.35: Segnale dell'ordine -1VIS -5 IR misurato durante la scansione con il monocromatore e somma del segnale di tutti gli ordini IR.

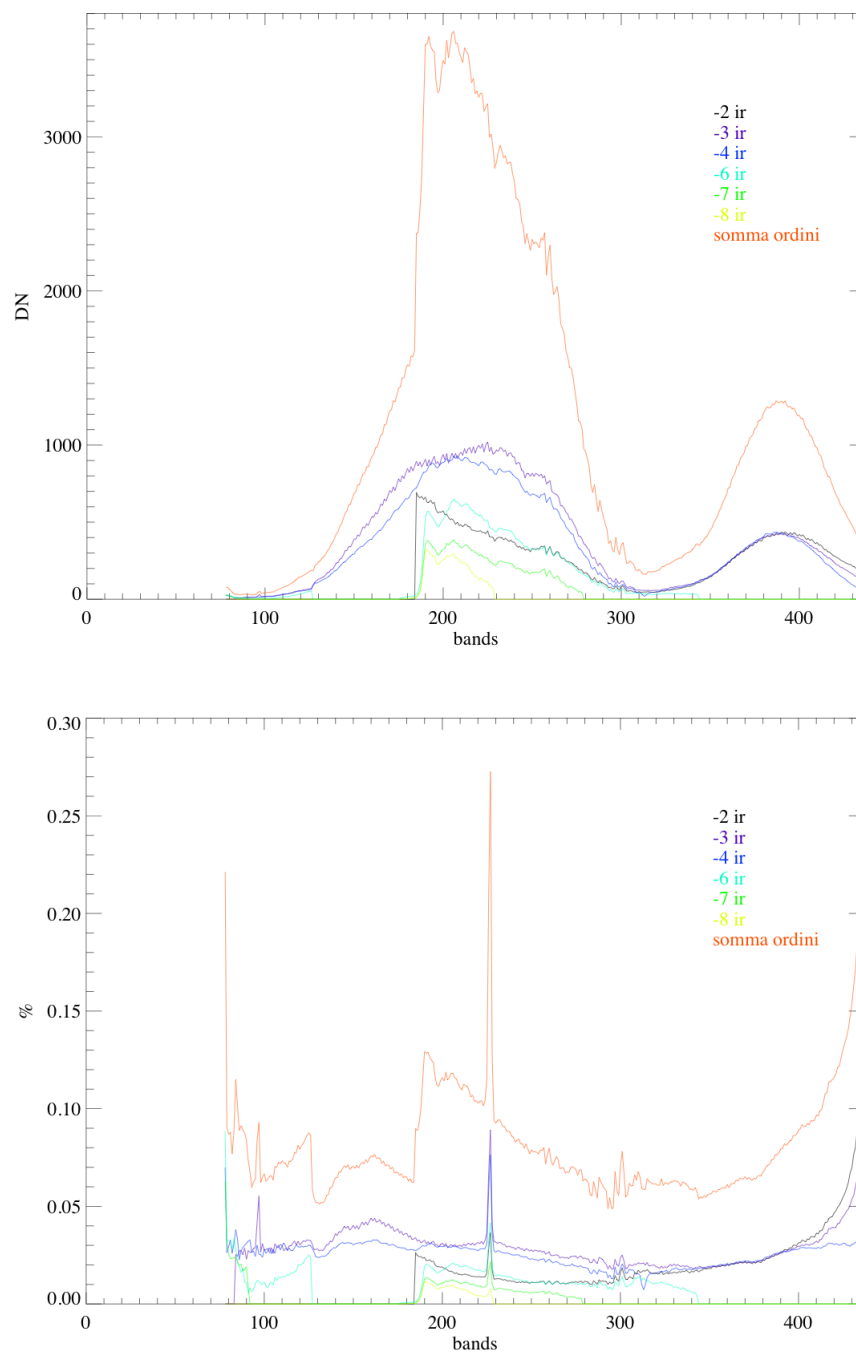


Figura 4.36: Alto: segnale degli ordini superiori IR misurato mediante la scansione del monocromatore. Basso: contributi percentuali degli ordini superiori rispetto all'ordine principale -1 VIS.

4.6 Calibrazione radiometrica

La calibrazione radiometrica é necessaria per poter convertire i conteggi dei piani focali (DN) in unità fisiche di radianza spettrale ($W m^{-2} \mu m^{-1} sterad^{-1}$). I metodi usati per determinare le responsività dei canali -VIS ed -IR sono descritti nelle due sezioni seguenti.

4.6.1 Responsività del canale visibile

Come ampiamente discusso nella sezione precedente, la contaminazione del segnale del canale -VIS da parte degli ordini superiori non permette di determinare con sufficiente accuratezza la funzione di trasferimento mediante la scansione con il monocromatore. Per questo motivo si é preferito ricorrere alle misure di flat-field in cui per ciascuna banda spettrale si misura la convoluzione del segnale della sorgente pancromatica con quello degli ordini infrarossi. Tra le altre cose questa situazione é maggiormente simile a quelle in cui si troverà ad operare lo strumento in volo osservando cioè sorgenti pancromatiche e non monocromatiche. D'altra parte il metodo impiegato consente di determinare la sola responsività relativa e non assoluta del canale VIS: questo perché la radianza emessa dal target é stata misurata in un secondo tempo e non contemporaneamente alle acquisizioni di VIRTIS-M; per questo potrebbero esserci fluttuazioni tra la radianza misurata dallo spettrometro rispetto a quella registrata da VIRTIS. Inoltre la misura della radianza emessa dal target FS_b é affetta da un errore geometrico sistematico (fattore moltiplicativo costante su tutto il range) in quanto é stata fatta con un radiometro (Field Spec Pro) avente un FOV di 1° diverso da quello di VIRTIS. La responsività assoluta, calcolata mediante i dati acquisiti in volo, sarà descritta nella sezione 5.4.

Un altro limite di questo setup é nel basso flusso fotonico per $\lambda < 450$ nm; in questo range spettrale la radianza emessa dal target illuminato dalla lampada QTH non é in grado di garantire un rapporto segnale-rumore sufficientemente elevato. In questo caso si può stimare la risposta strumentale solo mediante un modello radiometrico come quello descritto in Appendice B.

Tenendo conto di queste limitazioni sperimentali, la responsività spettrale R_{VIS} ($DN m^2 \mu m sterad W^{-1} s^{-1}$) é determinata al centro fenditura (s^*) come:

$$R_{VIS}(b, s^*) = \frac{DN(b, s^*)}{FS(b) \cdot t_{exp}} \quad (4.25)$$

dove $DN(b, s^*)$ sono i conteggi raw (corretti per la dark current ed il background), $FS(b)$ é la radianza spettrale in input ($W m^{-2} \mu m^{-1} sterad^{-1}$) misurata dal radiometro Field Spec Pro e t_{exp} il tempo di esposizione (s). La Figura 4.37 contiene il grafico della $R_{VIS}(b, s^* = 127)$. L'estensione della responsività su tutto il piano focale é possibile grazie allo stesso metodo impiegato per VIMS. In sostanza si sfrutta il fatto che il flat-field é normalizzato rispetto allo stesso sample ($s^*=127$) scelto per misurare la responsività.

$$ITF_{VIS} = flat\ field_{VIS}(b, s) \cdot R_{VIS}(b, s^*) \quad (4.26)$$

La funzione di trasferimento strumentale (in unità arbitrarie) é mostrata in Figura 4.38.

Nella sezione 5.4 sarà descritto il metodo utilizzato per valutare la funzione di trasferimento strumentale del canale -VIS in unità fisiche mediante misure compiute in volo.

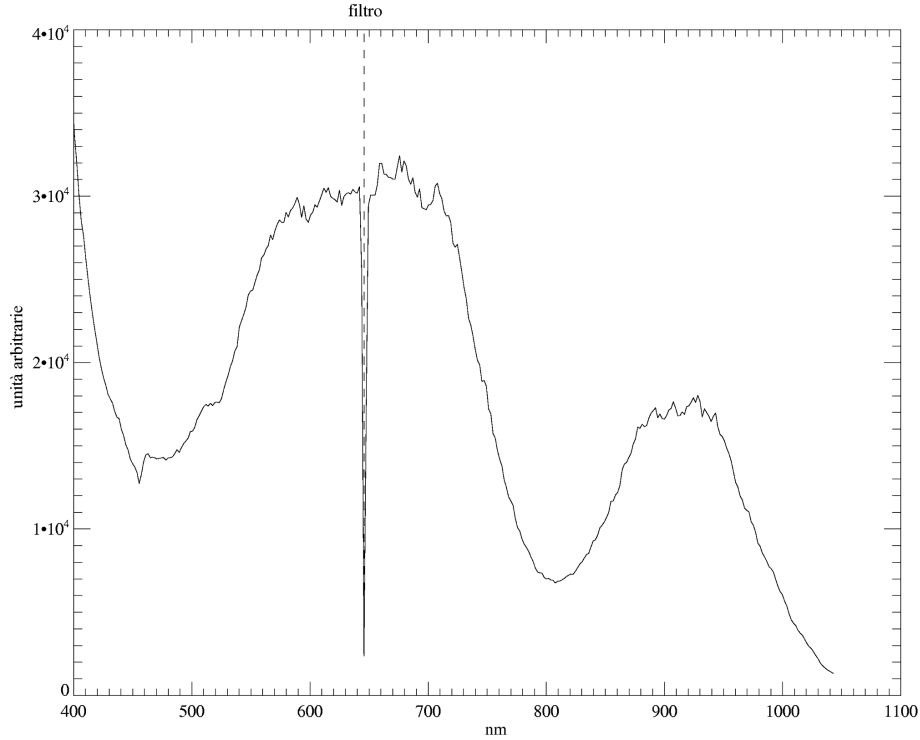


Figura 4.37: *Responsività relativa (unità arbitrarie) al centro fenditura $s^* = 127$ di VIRTIS-M-VIS.*

4.6.2 Responsività del canale infrarosso

Per la misura della responsività del canale IR si è fatto uso di diverse acquisizioni di corpi neri fatte all'IAS di Orsay durante i test finali sullo strumento assemblato (M+H). Il setup di misura è sostanzialmente analogo a quello utilizzato in Galileo Avionica con la sola differenza che l'intero banco ottico è posto in una camera a vuoto per rimuovere del tutto gli assorbimenti atmosferici presenti nel range infrarosso. La responsività del canale infrarosso è stata determinata in maniera assoluta acquisendo un corpo nero a diverse temperature (da 350 a 690 K) e con diversi tempi di esposizione. Al variare di questi due parametri (temperatura e tempo di esposizione) si è misurato il segnale del corpo nero in corrispondenza del centro della fenditura di VIRTIS-M (sample=128)⁶. Poiché le acquisizioni di VIRTIS-M sono limitate alla regione di Wien del corpo nero, il segnale utile è generalmente compreso in un intervallo spettrale limitato tra il livello di rumore strumentale (basse bands) e la saturazione (alte band); in Tabella 4.12 sono riportate i tempi di integrazione, la temperatura di corpo nero e l'intervallo spettrale su cui si è misurato il segnale per le 12 sessioni impiegate nel calcolo della responsività; in Figura 4.39 sono graficati i segnali spettrali (in DN) ed in Figura 4.40 le corrispondenti radianze spettrali di corpo nero ($W m^{-2} \mu m^{-1} sterad^{-1}$) calcolate con la legge di Planck.

⁶Diversamente dalle misure fatte in Galileo Avionica con la sola PEM, durante le calibrazioni fatte all'IAS (Orsay) si è utilizzata l'elettronica completa (PEM+ME) che provvede al ritaglio di 432 bands e 256 samples dei frames VIS ed IR.

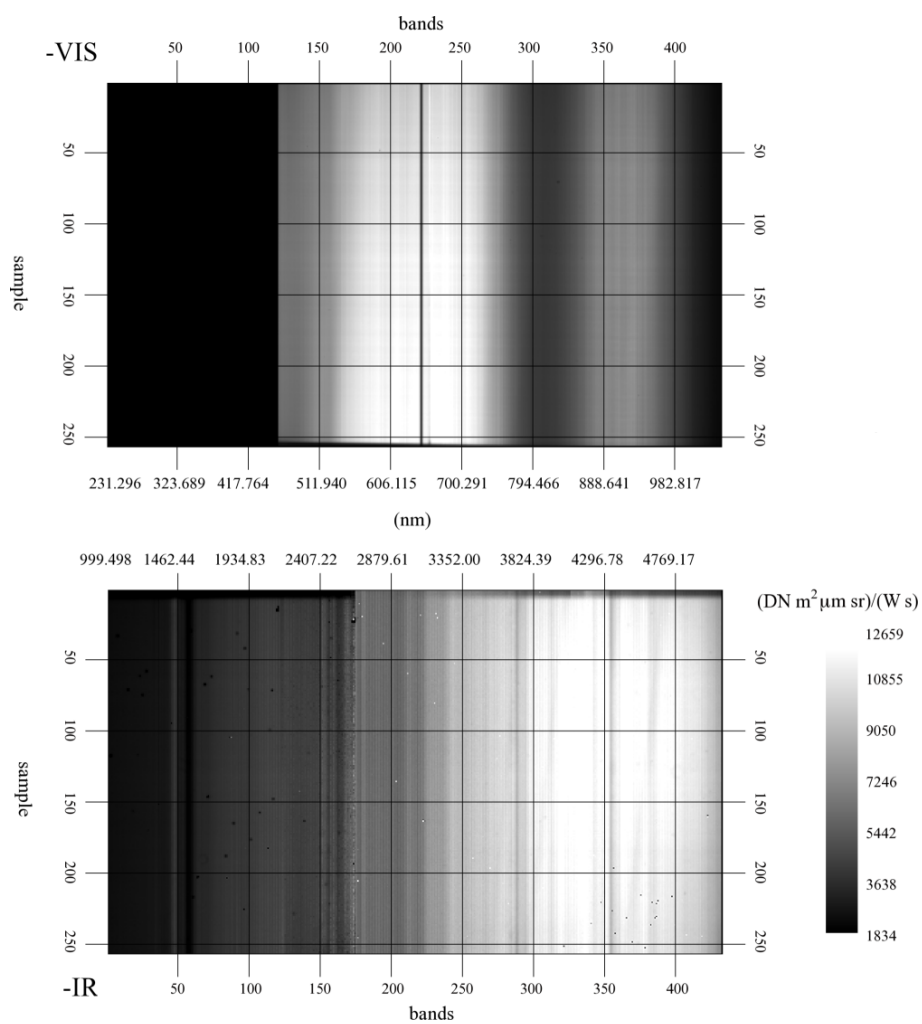


Figura 4.38: Alto: funzione di trasferimento strumentale di VIRTIS-M-VIS in unità relative; sulle $\lambda < 450 \text{ nm}$ è indeterminata. Basso: funzione di trasferimento strumentale assoluta di VIRTIS-M-IR.

Acquisizione	t_{exp} (s)	T_{BB} (K)	band _{min}	DN _{min}	band _{max}	DN _{max}
TI19KK13	1.0	690	28	6095	42	18120
TI19KJ56	0.1	690	34	1070	78	18004
TI19JK9	1.0	573	59	3677	78	17257
TI19JJ47	1.0	523	72	2779	104	17734
TI19JJ39	0.1	523	90	952	171	18267
TI19JG19	1.0	423	118	1805	172	17209
TI19JG4	0.1	423	156	867	266	18174
TI19KH21	0.1	398	172	843	305	18356
TI19KG48	1.0	350	172	1643	244	18303
TI19KG41	0.1	350	218	858	431	14871
TI19KG10	1.0	323	204	1435	292	18261
TI19KF23	0.1	323	254	880	431	7029

Tabella 4.12: *Acquisizioni di corpo nero a diverse temperature per la misura della responsività di VIRTIS-M-IR. Per ciascuna misura sono riportate il tempo di integrazione, la temperatura del corpo nero ed il range spettrale della dinamica utile per la misura della radianza.*

Le misure di corpo nero sono in grado di fornire sufficiente segnale nell'intervallo spettrale $28 < b < 431$; le bands $0 \div 27$ non sono mai raggiunte da segnale sufficiente: la determinazione della responsività su questi canali é possibile soltanto ricorrendo ad un modello teorico. La responsività viene calcolata mediante la seguente equazione:

$$R_{IR}(b, s^*) = \frac{DN(b, s^*) \cdot \tau(b)}{BB(b) \cdot t_{exp}} \quad (4.27)$$

applicata ai diversi intervalli spettrali specificati in Tabella 4.12. $DN(b, s^*)$ é il segnale al sample $s^* = 128$ (Figura 4.39), $BB(b)$ la corrispondente radianza spettrale (Figura 4.40), t_{exp} il tempo di integrazione e $\tau(b)$ la trasmittanza delle ottiche del banco. In Figura 4.41 sono riportati i contributi alla responsività delle diverse sessioni di misura.

Poiché esistono delle piccole differenze tra le responsività ottenute da misure diverse (probabilmente dovute all'errore con cui si conosce la temperatura del corpo nero), si preferisce ricorrere al valor medio sulle zone spettrali di sovrapposizione. Nelle Tabelle D.49 - D.62 sono tabulate le responsività parziali sulle singole misure e totale su tutto il range spettrale. Infine, applicando lo stesso metodo precedentemente discusso per il canale -VIS, si ottiene la funzione di trasferimento strumentale estesa su tutto il frame del canale -IR ITF_{IR} mediante l'uso del flat field (equazione 4.12):

$$ITF_{IR}(b, s) = flat\ field_{IR}(b, s) \cdot R_{IR}(b, s^*) \quad (4.28)$$

Nel pannello inferiore della Figura 4.38 é graficata la risultante ITF -IR.

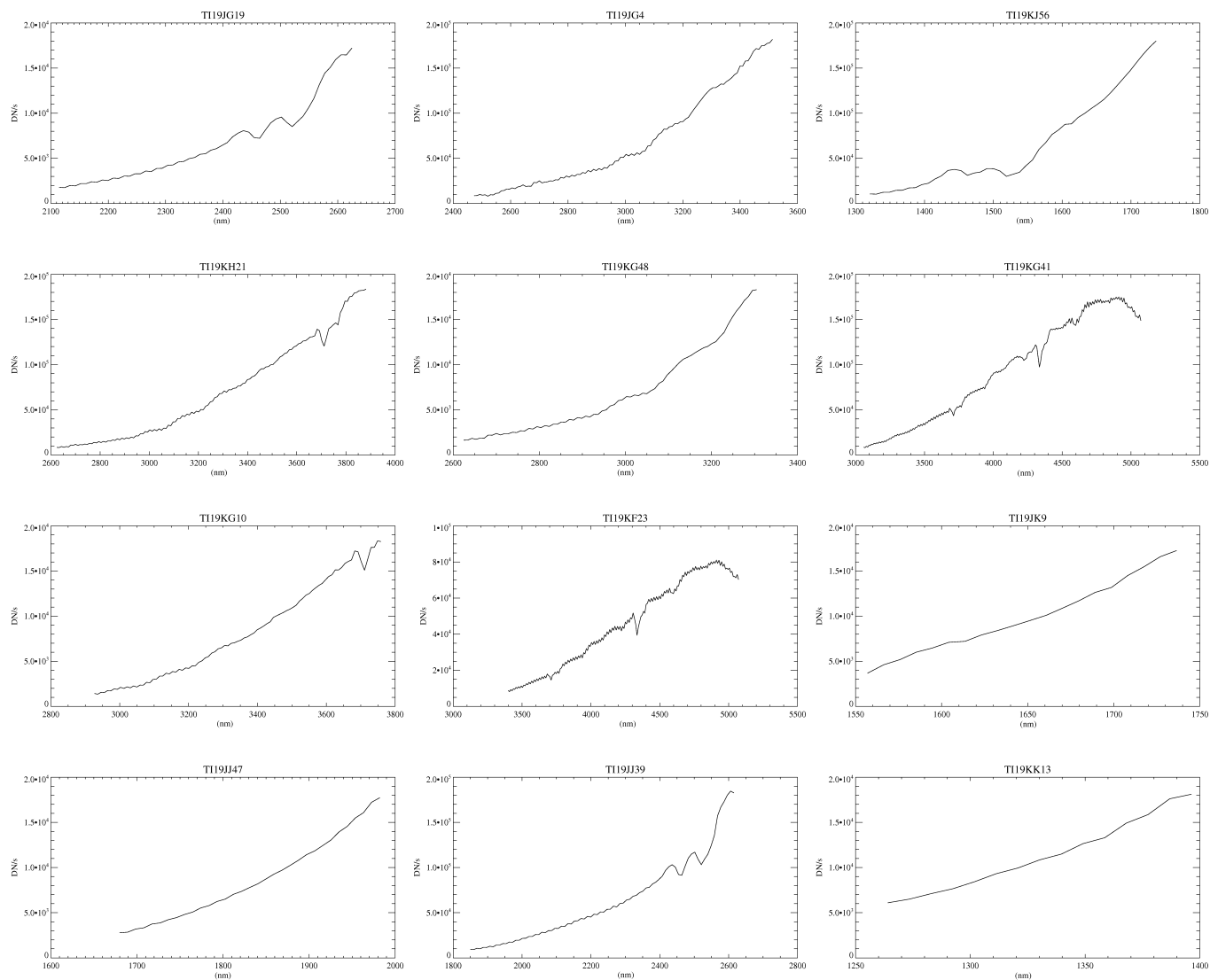


Figura 4.39: Segnale spettrale del corpo nero normalizzato ad 1 s. di esposizione sulle 12 acquisizioni usate per la misura della responsività di VIRTIS-M-IR.

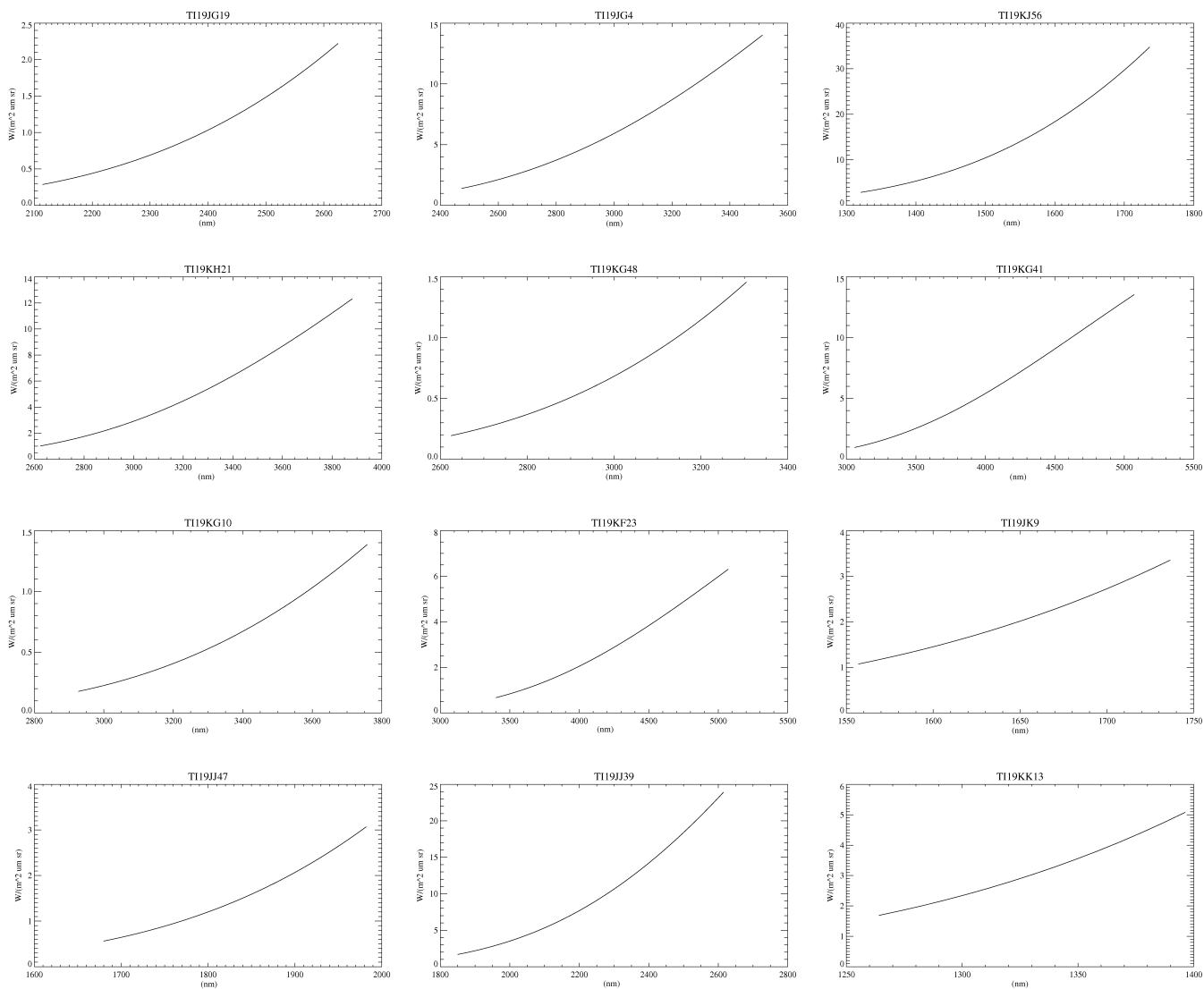


Figura 4.40: Radianza spettrale del corpo nero sulle 12 acquisizioni usate per la misura della responsività di VIRTIS-M-IR.

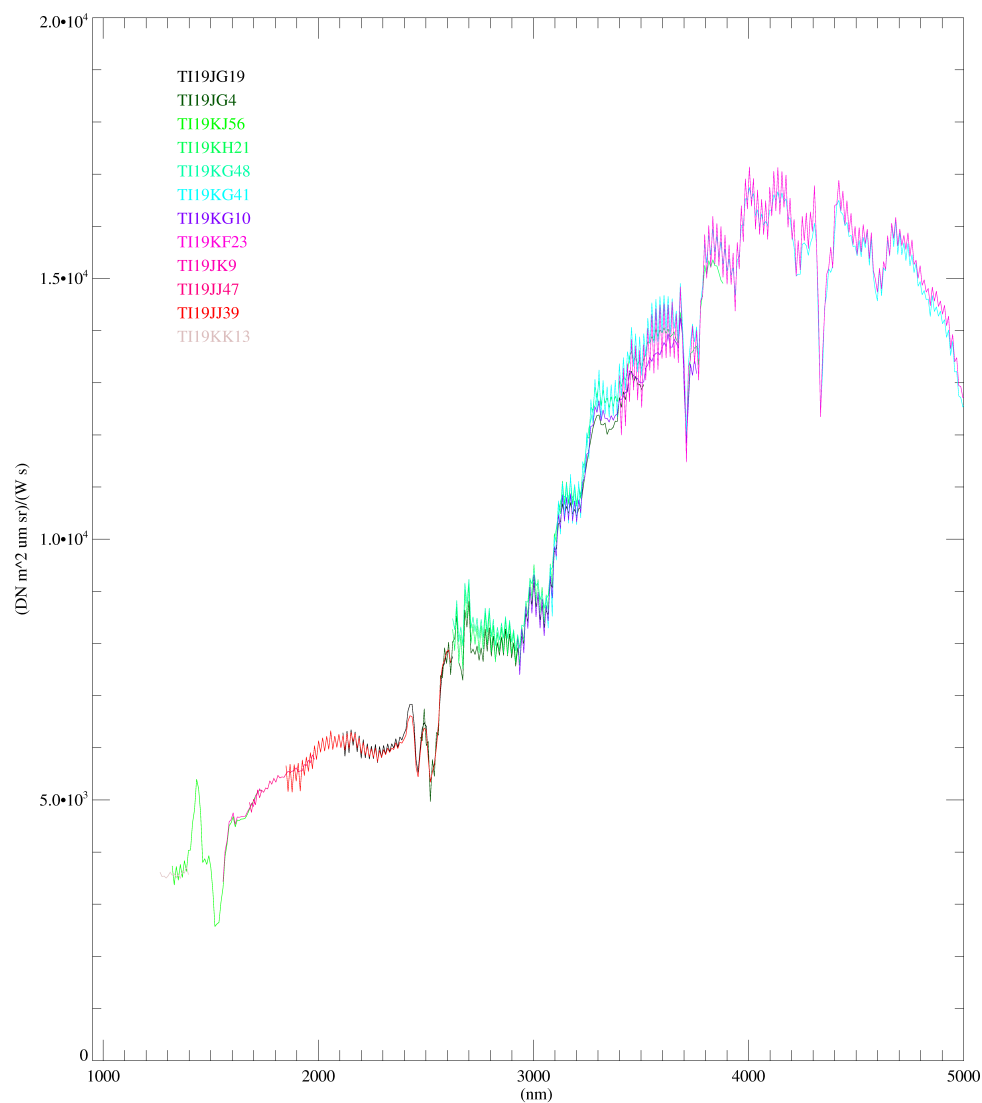


Figura 4.41: La responsività di VIRTIS-M-IR valutata mediante le 12 acquisizioni di corpo nero.

4.7 Calibrazione interna

In questo paragrafo viene discussa l'analisi dei dati delle sequenze di calibrazione interna ottenute durante i test pre-lancio. Le configurazioni strumentali della sequenza di calibrazione interna sono state precedentemente descritte nel paragrafo 3.2. Lo scopo di queste misure é quello di:

- verificare la stabilità della risposta spettrale;
- verificare la stabilità del flat-field;
- monitorare l'evoluzione dei pixel difettosi (in numero e distribuzione);
- controllare la stabilità radiometrica relativa.

Durante la sequenza vengono acquisiti 35 frames sia dal canale -VIS che dal canale -IR: nell'ordine 5 con la misura dell'offset di lettura dell'elettronica, 5 con i background, 5 con le dark currents, 5 con le acquisizioni della lampada IR, 5 con le acquisizioni della lampada VIS, per terminare con altre 5 dark currents e 5 background; questa ripetizione permette di valutare eventuali variazioni ambientali dopo l'accensione delle lampade. Le misure sono opportunamente scandite su un intervallo temporale lungo circa 12 minuti necessario per permettere la stabilizzazione del filamento delle lampade dopo la loro accensione. Nelle Figure 4.42 - 4.43 sono riportati i frames medi acquisiti dai due piani focali durante la sequenza. I primi tre frames, offset di lettura, background e dark current, del canale VIS (Figura 4.42) sono abbastanza simili tra loro con un valore medio di circa 76 DN ed una standard deviation di qualche DN; il segnale della lampada IR osservata dal canale VIS mostra un picco di segnale ben definito di 750 DN sulla $b=375$; il secondo picco attorno a $b=260$ corrisponde al massimo della funzione di risposta strumentale; il terzo picco, più debole dei precedenti, alla $b=75$ é invece un ghost del picco principale generato dagli ordini superiori del reticolo IR. Nel range VIS il filtro in polistirene della lampada IR non presenta assorbimenti di rilievo. La lampada VIS, osservata dalla CCD, mostra un segnale intenso, circa 12000 DN alla $b=370$, con due intensi assorbimenti dovuti al filtro in olmio alle $b=160, 215$. La stessa sequenza sul canale -IR (Figura 4.43) fornisce un frame di offset dell'elettronica piuttosto piatto distribuito attorno al valor medio di circa 7500 DN: su questo frame é particolarmente evidente l'effetto odd-even (offset verticali lungo l'asse della fenditura) dovuto al circuito multiplexer di lettura del piano focale; il background e la dark current del canale -IR sono particolarmente sensibili alla temperatura del piano focale e dell'ambiente circostante (pareti del telescopio e dello spettrometro): come conseguenza risultano essere simili al frame di offset dell'elettronica fino alla $b=350$; per $b > 350$ si osserva un aumento del segnale, fino a circa 11000 DN, dovuto all'emissione termica dello strumento ⁷. Sullo spettro della lampada IR sono identificabili diverse bande di assorbimento del polistirene ($b=230 \div 270$) nonché i filtri d'ordine del piano focale. Infine lo spettro della lampada VIS osservata dall'IRFPA é saturo fino alla $b=190$; un assorbimento dell'olmio, attorno alla $b=100$, é chiaramente visibile. I due frames di acquisizione delle lampade sul piano focale -IR possono essere parzialmente utilizzati per identificare i pixel difettosi.

⁷In questa sessione risultava essere $T_{\text{telescopio}} = 143.1$ K, $T_{\text{spettrometro}} = 142.9$ K, $T_{\text{CCD}} = 172.4$ K, $T_{\text{IRFPA}} = 87.3$ K.

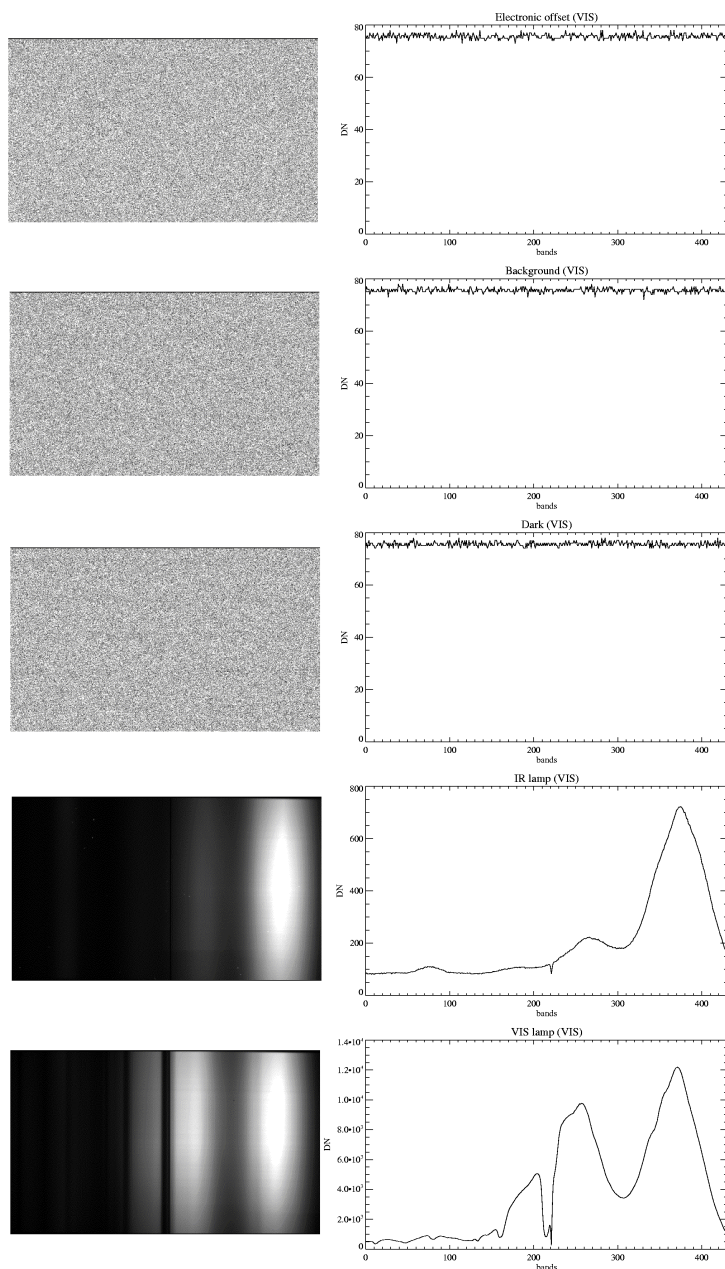


Figura 4.42: La sequenza di calibrazione interna del canale -VIS di VIRTIS-M. Dall'alto al basso: offset dell'elettronica, background, dark current, lampada IR e lampada VIS. Per ogni modalità sono riportati a sinistra il frame (media delle 5 acquisizioni) ed a destra lo spettro al centro fenditura.

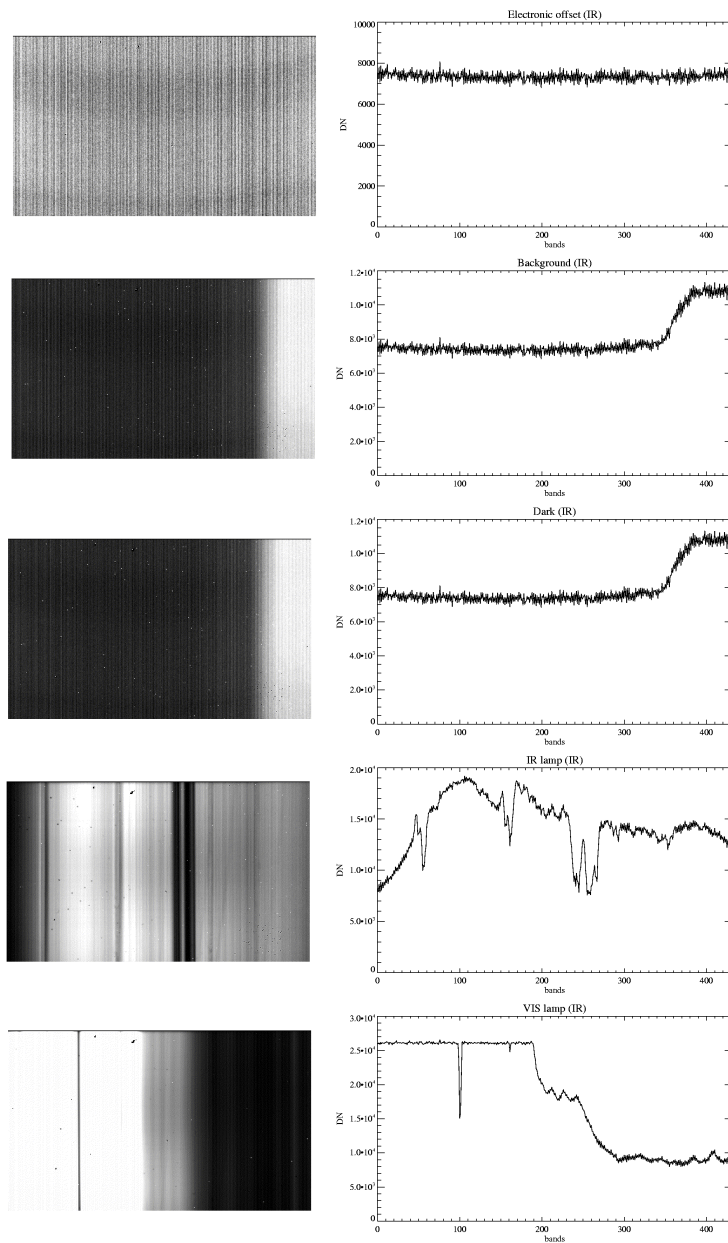


Figura 4.43: La sequenza di calibrazione interna del canale -IR di VIRTIS-M. Dall'alto al basso: offset dell'elettronica, background, dark current, lampada IR e lampada VIS. Per ogni modalità sono riportati a sinistra il frame (media delle 5 acquisizioni) ed a destra lo spettro al centro fenditura.

VIRTIS: prestazioni in volo

In questo capitolo vengono descritte le attività svolte durante lo svolgimento del dottorato riguardanti l'analisi delle prestazioni e la verifica della calibrazione dei dati fino ad oggi acquisiti in volo da VIRTIS-M. Prima di descrivere la pipeline di calibrazione saranno analizzati i principali effetti strumentali osservabili nei dati ed il metodo seguito per determinare la corretta funzione di trasferimento del canale -VIS.

5.1 Stabilità strumentale in volo

*1st law of Astroimaging:
Never trust one image.
R. Berry, J. Burnell*

5.1.1 Evoluzione della calibrazione interna

Come si é ampiamente discusso in precedenza (sezioni 3.2 - 4.7) le sequenze di calibrazione interna sono fondamentali per poter verificare la stabilità e ripetibilità dell'esperimento. Durante lo svolgimento della missione, ad ogni accensione di VIRTIS-M, viene comandata di default l'intera sequenza di calibrazione interna: in questo modo é possibile verificare eventuali variazioni della risposta strumentale indotte ad esempio dalle temperature delle componenti interne (pareti del telescopio e dello spettrometro, temperature dei piani focali), dall'invecchiamento dei piani focali (comparsa di nuovi pixel difettosi o variazioni della responsività) o dalla loro interazione con particelle cariche (spikes indotti dai raggi cosmici). Dal lancio di Rosetta (2 marzo 2004) ad oggi (settembre 2006), VIRTIS-M é stato acceso diverse volte sul satellite per compiere checkouts ed osservazioni scientifiche. Nelle Tabelle D.63 - D.68 sono tabulate in ordine cronologico le 22 sessioni di calibrazioni interne acquisite

in volo insieme alle temperature strumentali ed alle correnti di alimentazione delle lampade di calibrazione -VIS ed -IR.

Nei prossimi paragrafi verranno analizzate le variazioni delle prestazioni di VIRTIS-M principalmente in funzione delle condizioni termiche. In generale le seguenti condizioni devono essere simultaneamente verificate per poter ottenere le migliori prestazioni strumentali:

1. il cryocooler deve essere stato acceso per un tempo sufficientemente lungo (in genere circa 2 ore) in maniera tale da raffreddare progressivamente l'IRFPA a circa $70 \div 80$ K;
2. il satellite deve essere orientato in modo tale che il radiatore esterno di VIRTIS sia rivolto verso il fondo cielo: in questo modo l'intera struttura dello strumento (ledge, testa ottica, piano focale -VIS) raggiunge l'equilibrio termico.

Al verificarsi di queste condizioni le diverse parti dell'esperimento raggiungono le seguenti temperature di esercizio nominali:

- Piano focale -VIS: la CCD può operare nel range $140 \div 300$ K. Naturalmente è preferibile portare la temperatura del piano focale verso il limite inferiore per poter abbattere il livello di dark current. Per $T < 140$ K l'elettronica di controllo termico provvede all'accensione di un heater posto a contatto con la CCD: questo è necessario in quanto al di sotto di tale limite si riduce drasticamente la sensibilità del rivelatore. Per $T > 300$ K si potrebbe avere un danneggiamento dello strato di lumogen e dei filtri d'ordine: in questi casi si può provvedere al raffreddamento passivo del sensore soltanto mediante la corretta orientazione del satellite.
- Piano focale -IR: il sensore HgCdTe può essere acceso soltanto se mediante il cryocooler si è ridotta la sua temperatura a < 100 K; il range di temperatura ottimale è di $70 \div 80$ K;
- Testa ottica: telescopio e spettrometro in genere si stabilizzano a qualche grado K in più rispetto alla temperatura del radiatore (circa 140 K). La base di supporto della testa ottica, essendo protetta dall'MLI (Multi Layer Insulator) ed a contatto con l'interfaccia interna del satellite si trova generalmente a circa 280 K;
- Cover esterno: si trova approssimativamente alla temperatura del telescopio e rimane chiuso per tutta la durata della calibrazione interna;
- Shutter: si trova approssimativamente alla temperatura dello spettrometro e rimane chiuso solo durante le acquisizioni delle dark current.

In generale le diverse parti dello strumento sono caratterizzate da un'elevata stabilità termica durante la sequenza di calibrazione interna con l'eccezione dei due piani focali e dello shutter (vedi Tabelle D.63 - D.68). L'accensione e lettura dei piani focali provoca un aumento massimo della loro temperatura di circa 1 K tra il primo frame della sequenza e l'ultimo (il 35^{mo}). Sullo shutter si riscontra un aumento maggiore pari a circa 3 K, probabilmente causato dal meccanismo di attuazione dell'apertura e dal riscaldamento della parete di ingresso dello spettrometro da parte della luce emessa dalle lampade di calibrazione; lo shutter infatti è collocato in corrispondenza della fenditura dello spettrometro e quindi sul fuoco del telescopio.

Analisi della variazione del segnale dell'offset di lettura: l'offset elettronico di lettura dei due piani focali corrisponde ad acquisizioni con tempo di integrazione nullo (circa 50 microsecondi). In Figura 5.1 è riportata l'evoluzione del segnale di offset in corrispondenza del centro fenditura (sample=127); gli spettri graficati si riferiscono alla media dei cinque frames di offset (vedi Tabella 3.3). Sul canale -VIS si osserva un offset di lettura costante a tutte le bands e pari a circa $75 \div 78$ DN; sul canale -IR il segnale presenta una struttura a conca, con un minimo di circa 7400 DN attorno alla band=200 e massimi di circa 7500 DN agli estremi del range spettrale; il segnale -IR mostra una evidente struttura ad alta frequenza (effetto odd-even) caratteristico del circuito di readout multiplexer dell'IRFPA. Un'ultimo commento riguarda la stabilità temporale del segnale di offset che si mantiene sostanzialmente riproducibile in tutte le sessioni; lo spike alla $b=430$ sul canale -VIS della F53TH0 è dovuto ad un raggio cosmico.

Analisi della variazione del segnale di background e di dark current: i frames di background sono acquisiti a cover chiuso e shutter aperto e sono quindi adatti per verificare il contributo interno dovuto al cover, al telescopio ed allo spettrometro sul segnale misurato; con riferimento alla Figura 5.2 sul canale -VIS si osserva un segnale piatto attorno 55 DN su tutto il range spettrale che non subisce variazioni sulle diverse sessioni (tre spikes sono evidenti alle bands 94, 207 e 305). Sul canale -IR il segnale risulta essere costante (≈ 7500 DN) nel range $0 \leq b \leq 350$ mentre per $b \geq 350$ mostra una variabilità indotta dalla diversa temperatura dello strumento durante le misure ($\approx 8000 \div 14500$ DN): a temperature dell'insieme telescopio-spettrometro maggiori corrisponde infatti un aumento del segnale di background. Considerazioni analoghe valgono anche per la dark current del canale VIS (acquisita a shutter chiuso, vedi pannello in alto in Figura 5.4); questi risultati dimostrano come il contributo del telescopio sia trascurabile sul segnale misurato essendo la temperatura del cover comparabile a quella dello shutter. D'altra parte la dark current misurata risulta essere funzione della temperatura del piano focale; sul canale -VIS si osserva (vedi Tabella 5.1 e Figura 5.4) un aumento del livello medio di dark current di circa 0.0666 DN/K al diminuire della temperatura della CCD (≈ 2 DN passando da 177 a 147 K). Questo fenomeno avviene a causa della bassa temperatura del sensore, prossima al limite (< 130 K) in cui il trasferimento delle cariche viene bloccato dal congelamento del reticolo cristallino del semiconduttore.

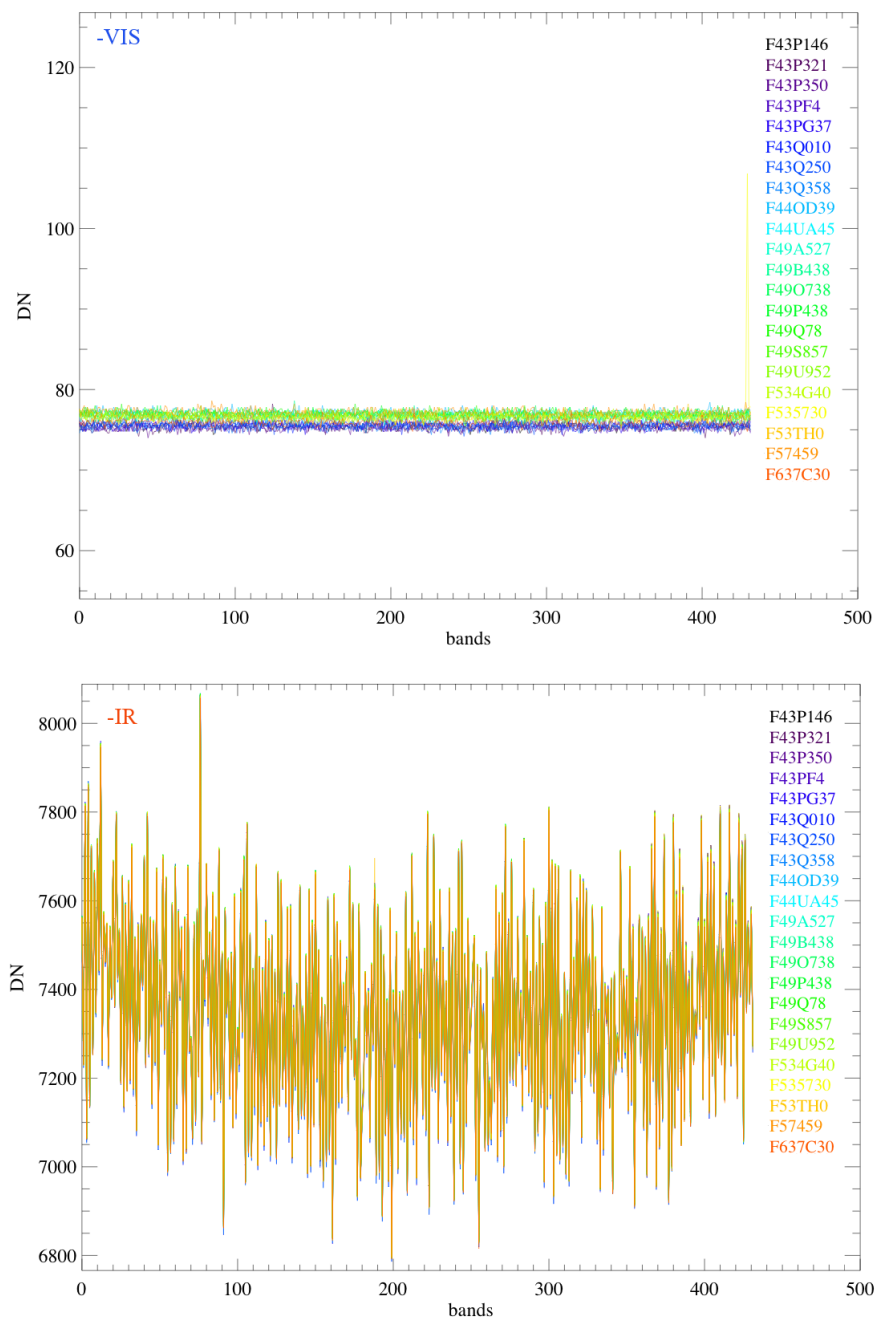


Figura 5.1: *Evoluzione temporale del segnale di offset nelle calibrazioni interne di VIRTIS-M-VIS (alto) ed -IR (basso). Spettro estratto a centro slit al sample $s=127$.*

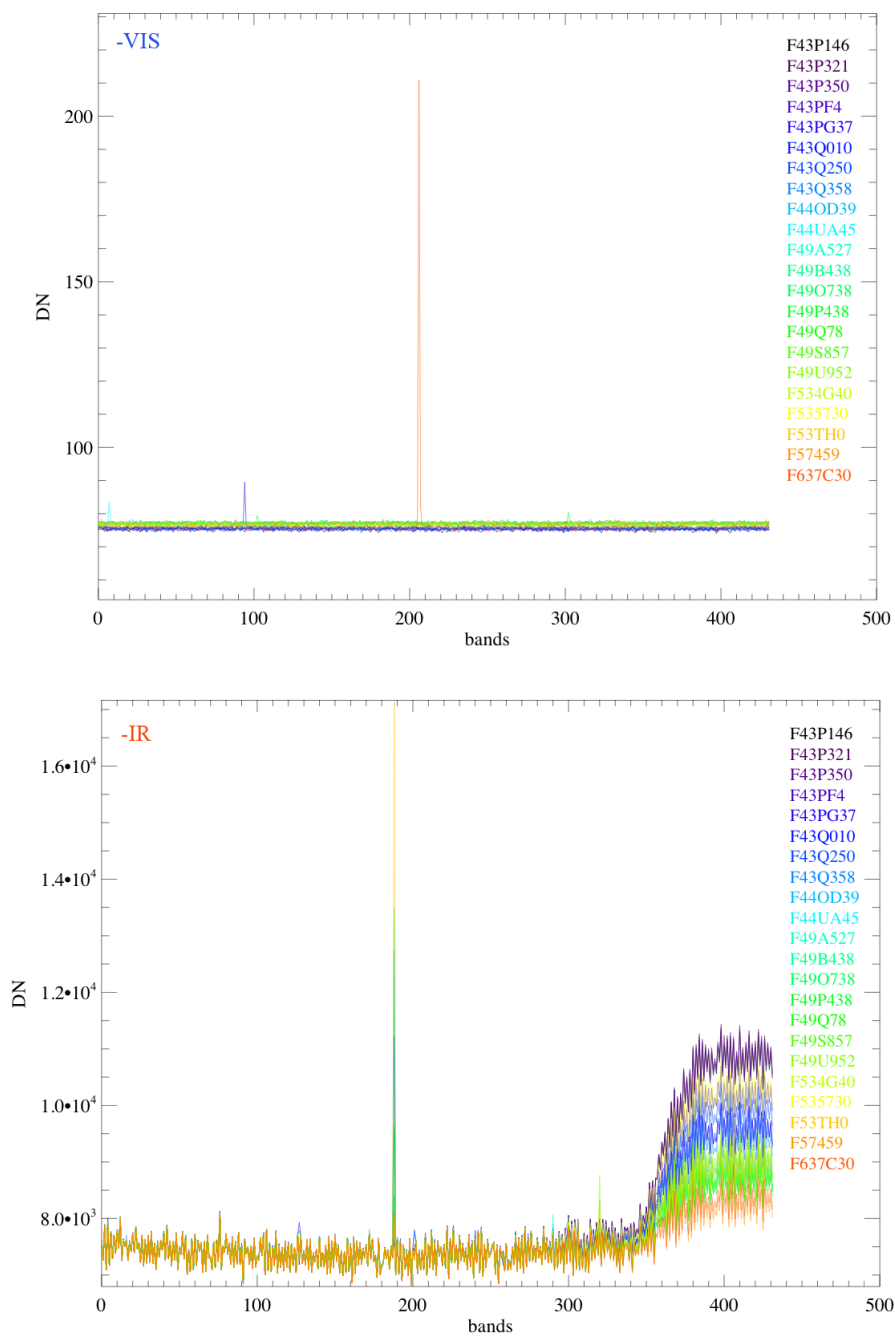


Figura 5.2: Evoluzione temporale del segnale di background nelle calibrazioni interne di VIRTIS-M-VIS (alto) ed -IR (basso). Spettro estratto a centro slit al sample $s=127$.

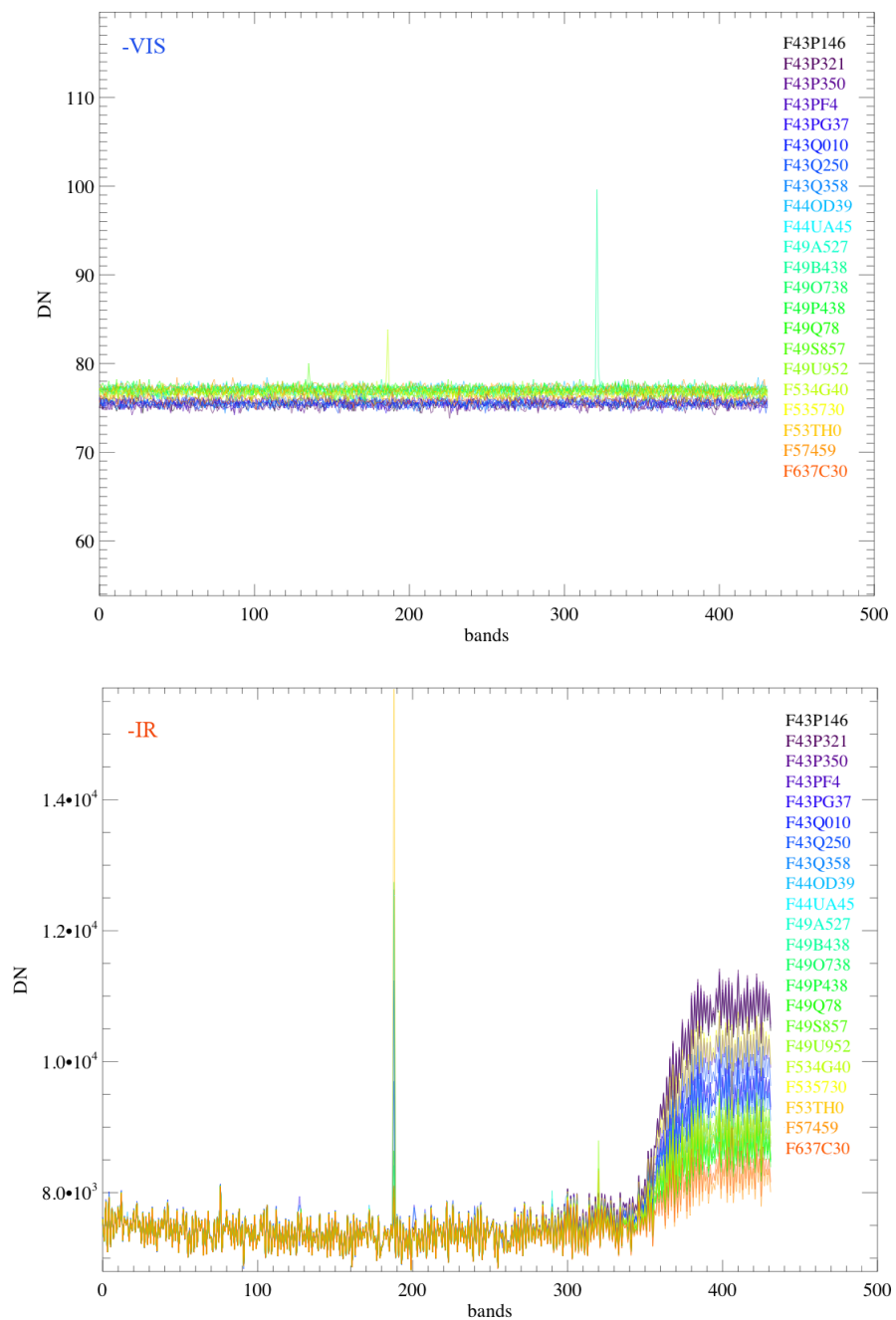


Figura 5.3: *Evoluzione temporale del segnale di dark current nelle calibrazioni interne di VIRTIS-M-VIS (alto) ed -IR (basso). Spettro estratto a centro slit al sample s=127.*

Sessione	T_{CCD}^{VIS} (start) (K)	T_{IRPA}^{IR} (start) (K)	$T_{tele.}$ (K)	$T_{spectr.}$ (K)	$T_{shutter}$ (start) (K)	T_{OM} (K)	$T_{rad.}$ (K)	T_{edge} (K)	$Dar-k^{VIS}$ (DN)	BKG^{VIS} (DN)	$Dar-k^{IR}$ (DN)	BKG^{IR} (DN)
F43P146	172.411	87.0650	143.1	142.9	143.8	282.3	141.3	146.1	75.5171	75.5213	7398.67	10776.4
F43P321	176.755	87.7490	142.8	142.5	143.9	281.8	140.9	145.7	75.2231	75.2046	7399.93	10876.1
F43P350	175.985	86.9090	143.0	142.4	144.4	281.8	140.8	145.6	75.3037	75.2982	7398.91	10827.2
F43PF4	170.108	76.4780	140.1	140.2	140.4	283.2	139.3	143.9	75.5639	75.5579	7394.66	10177.1
F43PG37	170.212	94.3820	140.0	140.0	140.4	281.2	141.3	146.1	75.5343	75.5236	7406.32	9539.77
F43Q010	171.041	86.9090	138.9	139.1	139.2	280.5	138.3	142.8	75.7083	75.7218	7401.86	9559.91
F43Q250	171.417	77.8260	139.3	139.2	139.9	282.3	138.4	142.9	75.4884	75.4944	7399.21	9885.05
F43Q358	170.558	93.3400	139.2	139.1	139.7	280.5	138.5	143.0	75.5444	75.5134	7418.91	9364.48
F44OD39	148.079	85.9430	137.1	137.2	137.4	269.8	136.8	141.1	77.1625	77.1565	7384.74	8723.84
F44UA45	148.570	85.7870	137.8	138.2	138.0	286.8	138.8	143.0	76.7185	76.7375	7386.27	8936.11
F49A527	148.229	85.6930	137.2	137.5	137.5	282.1	136.9	141.3	76.8283	76.8213	7386.52	8789.17
F49B438	147.633	85.9120	136.7	136.9	137.0	274.7	136.2	140.5	77.0578	77.0074	7382.97	8670.64
F49O738	147.857	85.9120	136.9	137.2	137.2	274.8	137.1	141.3	77.0569	77.0264	7400.55	8720.85
F49P438	147.931	85.9430	136.9	137.0	137.3	273.8	136.0	140.3	77.0676	77.0653	7384.68	8693.80
F49Q78	147.500	85.8180	136.3	136.5	136.7	271.2	135.6	139.9	77.1370	77.1305	7385.71	8603.06
F49S857	149.135	85.8800	138.3	138.4	138.7	279.2	137.6	142.0	76.9328	76.9273	7385.61	8982.52
F49U952	149.061	85.9120	138.5	139.0	138.7	285.2	139.5	144.0	76.7269	76.7139	7387.44	9106.41
F534G40	149.047	85.4120	136.9	142.9	137.1	282.7	137.2	141.6	76.6972	76.6421	7382.31	8732.07
F535730	154.159	86.5360	143.0	142.7	143.6	282.8	140.9	145.7	76.4573	76.4856	7396.12	10253.1
F53TH0	152.100	85.4120	137.9	138.1	138.3	278.4	137.6	142.0	76.6783	76.7069	7409.22	8937.99
F57459	147.261	85.2560	133.3	133.6	133.7	267.2	132.6	136.6	77.2449	77.2306	7378.00	8195.64
F637C30	165.943	84.6610	132.1	132.5	132.4	270.4	131.2	135.1	75.9092	76.2496	7377.54	8357.68

Tabella 5.1: Variazione del segnale di dark current e di background di VIRTIS-M durante le sessioni di calibrazione interna. Per le 22 sessioni sono riportate le diverse temperature strumentali ed i segnali medi misurati sui due piani focali. La dark current ed il background VIS corrispondono al valor medio misurato sul frame rispettivamente a shutter chiuso ed aperto; la dark current IR corrisponde alla media del segnale misurato sulle bands = 0 ÷ 300 a shutter chiuso; il background IR alla media del segnale misurato sulle bands = 380 ÷ 431 a shutter aperto.

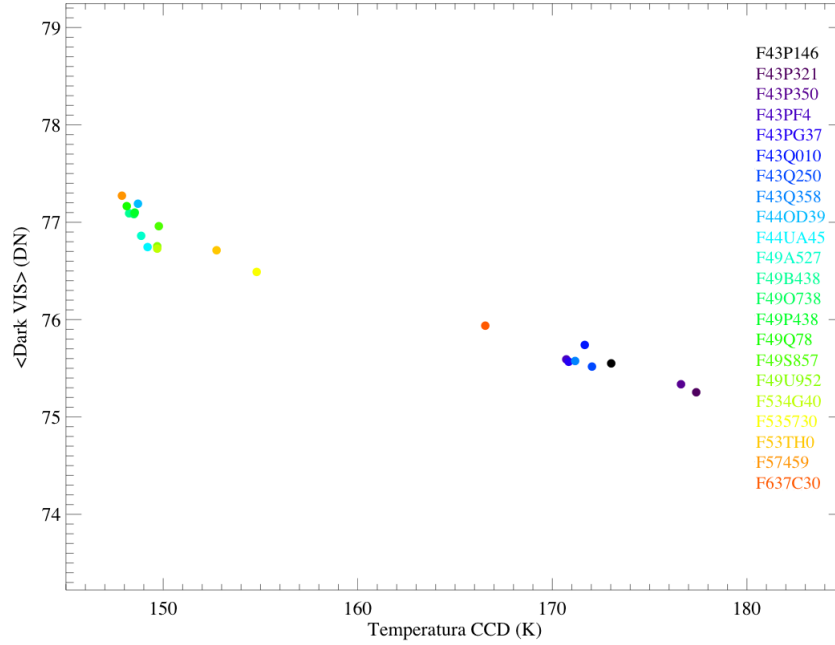


Figura 5.4: Dipendenza del segnale di dark current di VIRTIS-M-VIS con la temperatura della CCD; a causa della bassa temperatura del sensore la dark current aumenta di circa 0.0666 DN/K nel range $177\text{-}147 \text{ K}$.

Il background del canale -IR risulta essere fortemente dipendente dalla temperatura delle pareti interne dello strumento nell'estremo infrarosso $380 \leq b \leq 431$ (vedi Figura 5.5 in cui é graficata la dipendenza del background dalla temperatura dello spettrometro): in questo range si osserva un'aumento di circa 2500 DN passando da 137 a 143 K. La dark current del canale IR infine é stata valutata sulla regione del sensore non soggetto all'emissione termica delle pareti interne, ovvero sul range $0 \leq b \leq 300$; in Figura 5.6 é mostrata la dipendenza della dark current dell'IRFPA dalla temperatura del piano focale e dello shutter.

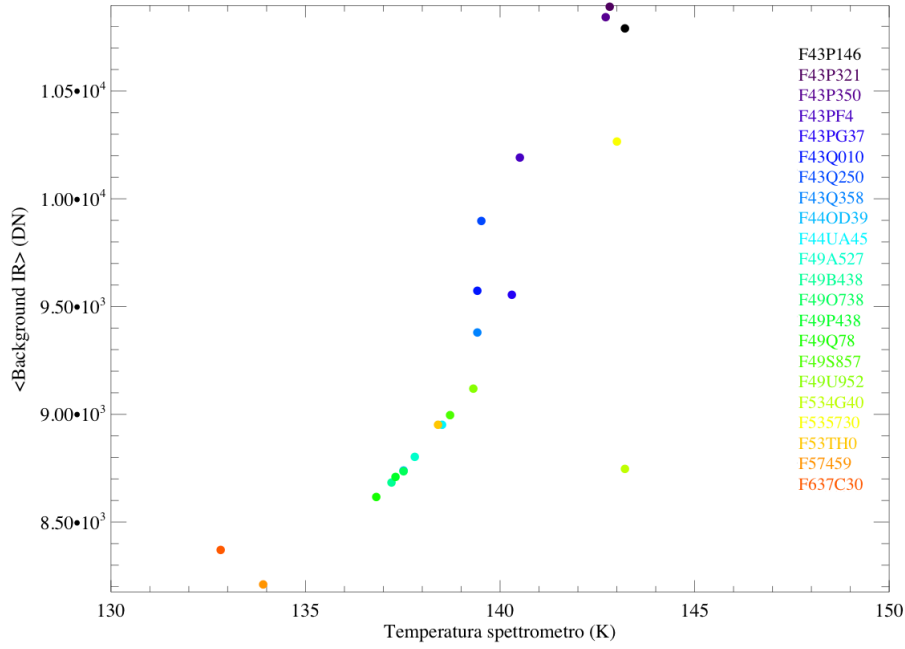


Figura 5.5: Dipendenza del segnale di background di VIRTIS-M-IR con la temperatura dello spettrometro.

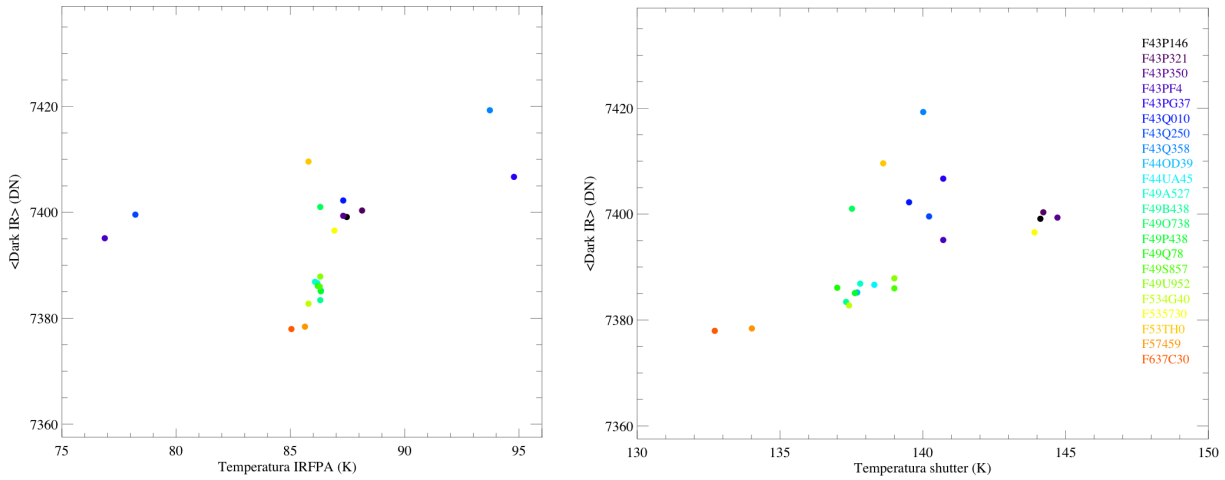


Figura 5.6: Dipendenza del segnale di dark current di VIRTIS-M-IR con la temperatura dell'IRFPA (sinistra) e dello shutter (destra).

Analisi della variazione del segnale delle lampade di calibrazione: nel commentare i dati delle lampade di calibrazione occorre considerare oltre alle temperature strumentali anche i parametri di alimentazione elettrica ovvero la corrente comandata e la tensione applicata (vedi Tabelle D.63 - D.68). In tutte le sessioni infatti é stata sempre utilizzata l'alimentazione nominale stabilizzata a 250 mA per la lampada -VIS (filtro olmio) e di 100 mA per la lampada -IR (filtro polistirene); la sessione F43P350 corrisponde ad un test con l'alimentazione massima (254 mA e 109 mA rispettivamente per la lampada -VIS ed -IR); nella sessione F43P321 si é utilizzata l'alimentazione minima (240 mA e 94 mA rispettivamente per la lampada -VIS ed -IR). Con riferimento alle Figure 5.7 - 5.8 per queste due sessioni si osserva il segnale massimo e minimo sui due piani focali; nelle rimanenti sessioni nominali si verifica una sostanziale stabilità del segnale, con piccole variazioni in corrispondenza dei massimi del segnale ovvero attorno alla band=375 del canale -VIS e della band=110 del canale -IR per la lampada -IR (Figura 5.7) ed alle band=260 e 370 del canale -VIS per la lampada -VIS (Figura 5.8). Queste piccole fluttuazioni sono essenzialmente dovute alla dipendenza della resistenza del filamento dalla temperatura e non a variazioni sostanziali delle prestazioni radiometriche dello strumento: durante l'accensione il filamento viene riscaldato dal passaggio della corrente fino alla sua stabilizzazione. Poiché le correnti di alimentazione sono costanti si osserva una piccola variazione della tensione applicata durante la fase di accensione di ciascuna lampada come riportato nelle Tabelle D.63 - D.68.

Da un'analisi dettagliata del segnale delle lampade risulta che la posizione spettrale delle bande di assorbimento del filtro in olmio (pannello in alto della Figura 5.9) non cambia durante le misure fatte in volo. Anche sul canale -IR si osserva una sostanziale uniformità degli assorbimenti durante le misure (pannello in basso della Figura 5.9) con l'eccezione delle ultime due misure (F57459 e F637C30) in cui la posizione degli assorbimenti risulta essere ridotta di una band. Questo effetto é dovuto al fatto che durante queste due sessioni lo spettrometro ha raggiunto la minima temperatura durante tutte le sessioni in volo ($\approx 132 \div 133$); al diminuire della temperatura la struttura meccanica dello spettrometro subisce delle contrazioni con conseguente variazione delle distanze tra il reticolo e lo specchio M6 e quindi della risposta spettrale.

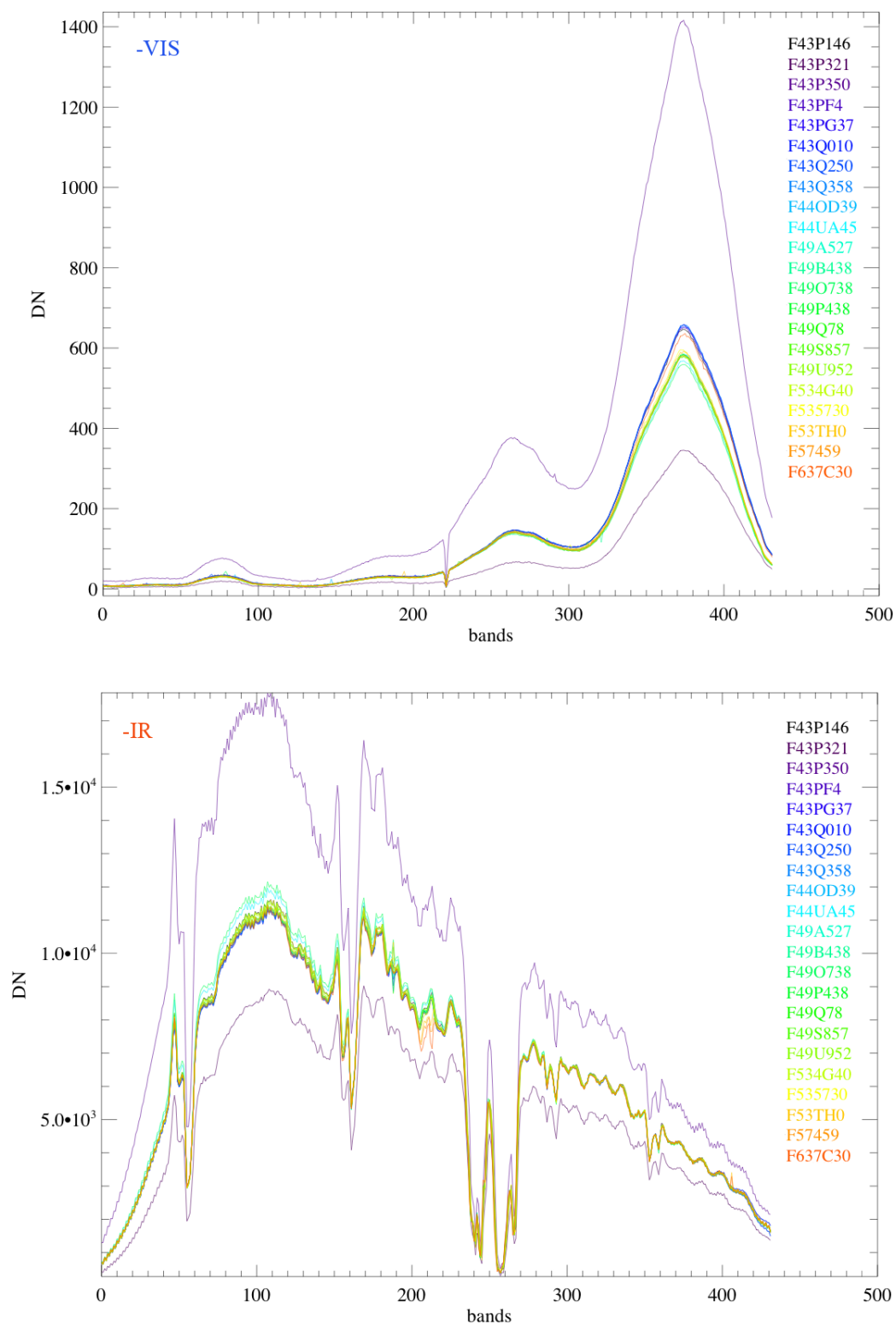


Figura 5.7: Evoluzione temporale del segnale della lampada -IR (filtro in polistirene) nelle calibrazioni interne di VIRTIS-M-VIS (alto) ed -IR (basso). Spettro estratto a centro slit al sample $s=127$ e sottratto della dark current. Il segnale -IR attorno alle $b=200 \div 210$ diminuisce progressivamente dalle prime alle ultime misure fatte in volo.

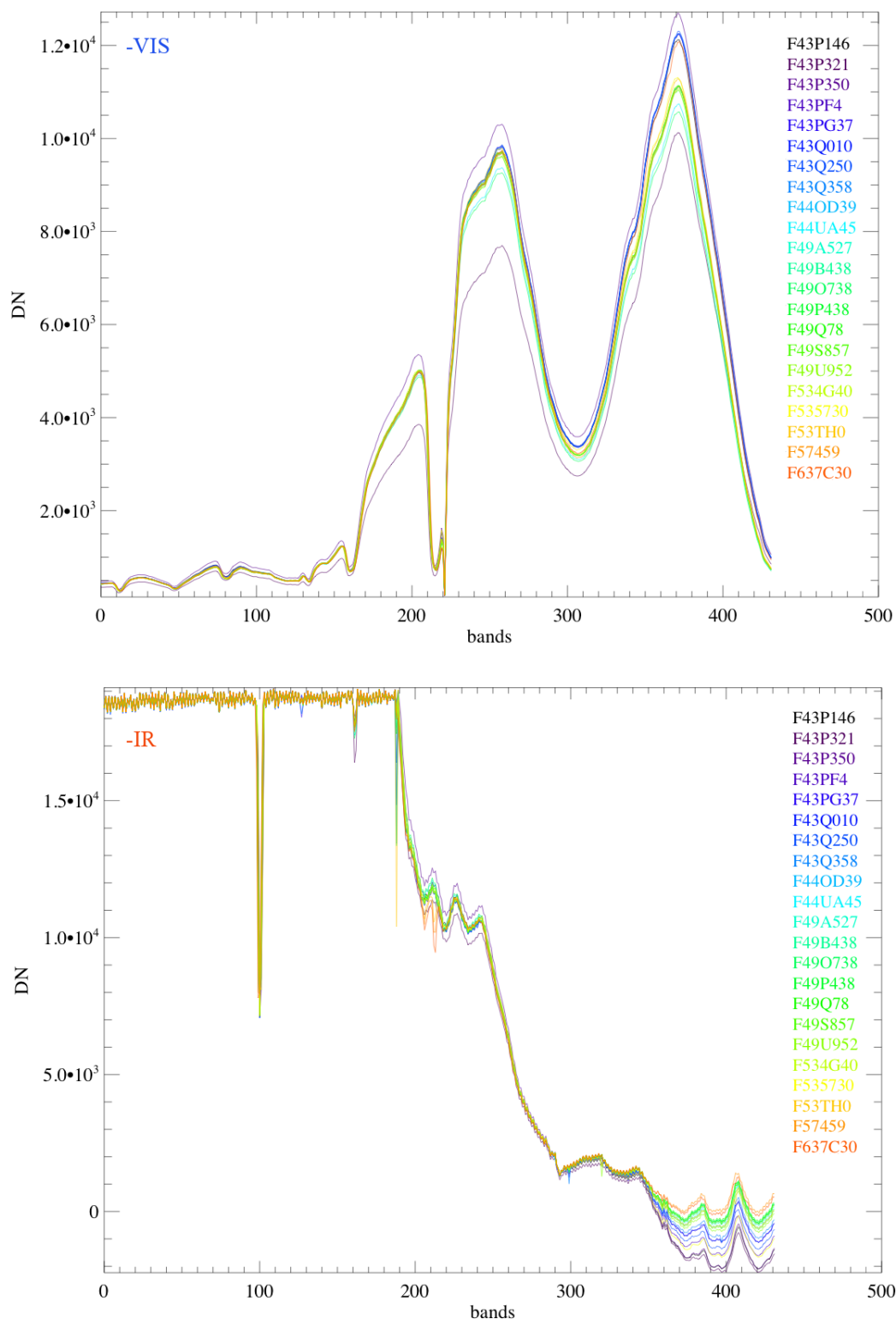


Figura 5.8: Evoluzione temporale del segnale della lampada -VIS (filtro in olmio) nelle calibrazioni interne di VIRTIS-M-VIS (alto) ed -IR (basso). Spettro estratto a centro slit al sample $s=127$ e sottratto della dark current. Gli spettri del canale -IR sono saturi per $b < 190$ e mostrano due bande di assorbimento dell'olmio a $b=100$ e $b=160$. Il segnale -IR attorno alle $b=200 \div 210$ diminuisce progressivamente dalle prime alle ultime misure fatte in volo.

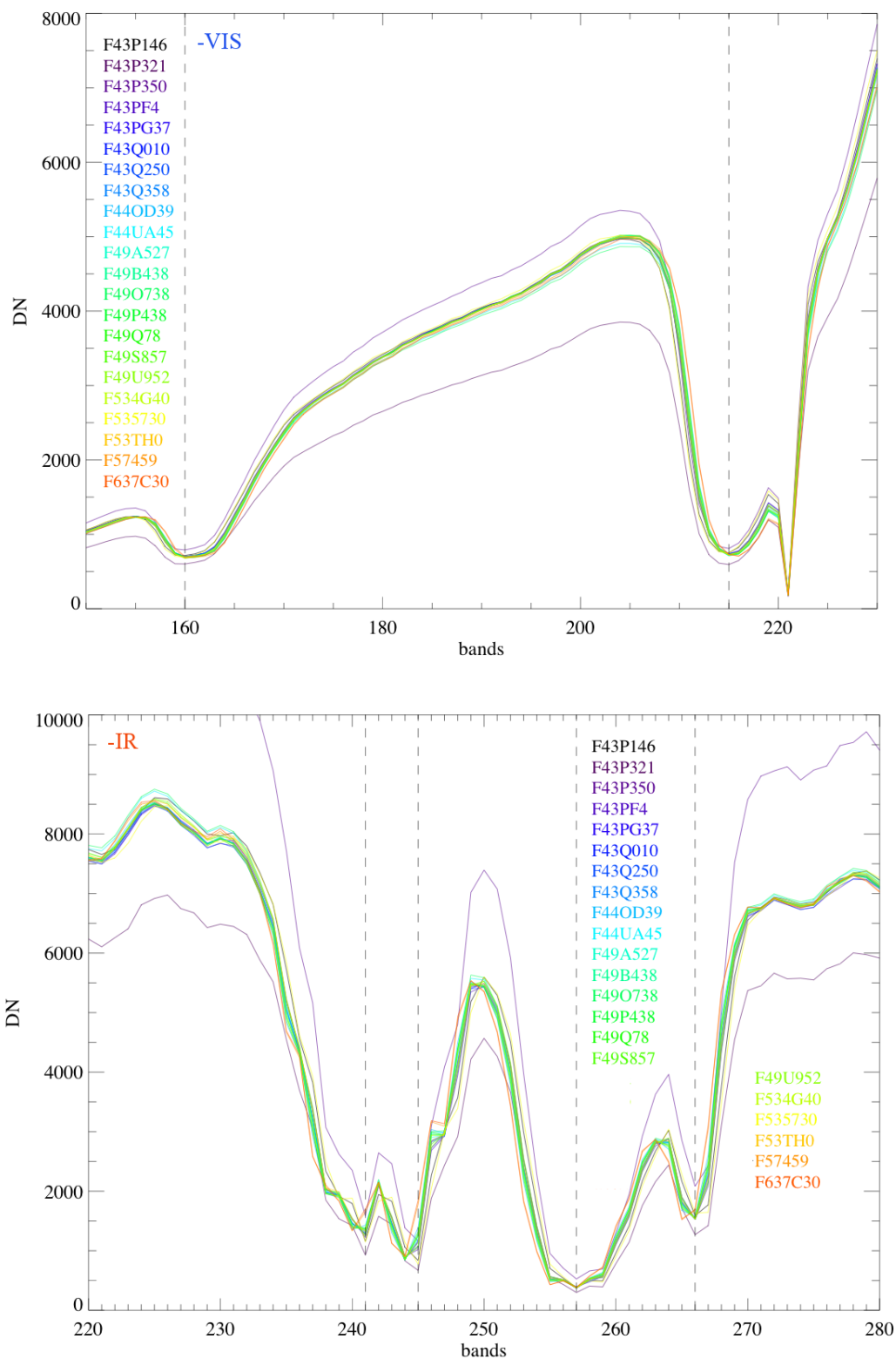


Figura 5.9: Verifica della calibrazione spettrale di VIRTIS-M in volo: evoluzione temporale del segnale delle lampade -VIS ed -IR sulle bande di assorbimento dei filtri. Le linee verticali corrispondono agli assorbimenti di riferimento del filtro.

5.1.2 Evoluzione della risposta dell'IRFPA

Come mostrato nelle precedenti Figure 5.7 - 5.8 il segnale misurato sul canale -IR al centro fenditura attorno alle bands=200 ÷ 210 subisce un'evoluzione temporale diminuendo progressivamente durante le sessioni di calibrazione interna. Questo effetto é dovuto ad una sostanziale variazione della risposta radiometrica del piano focale intervenuta dopo il lancio di Rosetta che é andata evolvendo nel tempo. Per poter meglio comprendere i fatti si riporta in Figura 5.10 l'evoluzione temporale dell'immagine del frame -IR in corrispondenza dell'acquisizione della lampada -IR ad ogni sessione di calibrazione interna in volo. A partire dalla sessione F49B438 compare infatti una prima zona circolare di diminuzione del segnale posizionata attorno a al sample=245, band=162; dalla successiva F49O738 compare una seconda regione che partendo dal bordo del piano focale (sample=256, band=178) si estende progressivamente oltre il centro fenditura fino alla sessione F637C30 (sample=120, band=210). Forma, posizione ed evoluzione di queste strutture lasciano pensare che la loro comparsa sia dovuta a rotture concoidi sul filtro D che copre la regione spettrale $\lambda = 2.441 \div 3.734 \mu m$; la probabile causa di questo fenomeno potrebbero essere state le vibrazioni subite dal piano focale durante il lancio. Tra le due strutture principali compare una terza regione di forma triangolare in cui si registra un lieve aumento del segnale della lampada -IR, probabilmente dovuto a riflessioni interne sulle interfacce delle venature del filtro. Complessivamente questo effetto interessa circa il 5% dei pixel del piano focale. In Figura 5.11 viene riportato un dettaglio della regione interessata a questo effetto sulla misura della lampada -IR nella calibrazione interna F49S857.

La rimozione di questo effetto strumentale richiede l'applicazione di un'elaborazione supplementare che ne possa rimuovere le conseguenze sul dato calibrato. In sostanza si rende necessario modificare la matrice di responsività del piano focale -IR (precedentemente descritta in sezione 4.6.2) in modo da compensare la variazione della risposta del filtro. Le acquisizioni della lampada -IR sono particolarmente adatte a questo scopo in quanto forniscono un segnale spettro radiometrico estremamente ripetibile nel tempo e con una distribuzione spaziale, lungo l'asse della fenditura, che non cambia nel tempo. Usando queste acquisizioni é possibile valutare le variazioni sul flat-field indotte dalla rottura del filtro e quindi compensarne l'effetto sulla responsività strumentale. Il metodo seguito consiste nei seguenti passaggi applicati a titolo di esempio sulla sessione F535730¹: innanzitutto viene considerato il segnale medio della lampada -IR misurata dal piano focale -IR prima e dopo la comparsa della rottura del filtro; sia *pre* il segnale sull'acquisizione FI43P146 e *post* sulla FI535730 (rispettivamente pannelli in alto ed in basso della Figura 5.12); su queste due acquisizioni si procede al calcolo delle rispettive matrici di flat-field mediante normalizzazione al centro della fenditura ($s^* = 127$):

$$flat_field_{pre} = \frac{DN(b, s)_{FI43P146}}{DN(b, s^*)_{FI43P146}} \quad (5.1)$$

$$flat_field_{post} = \frac{DN(b, s)_{FI535730}}{DN(b, s^*)_{FI535730}} \quad (5.2)$$

¹Si é scelta questa sessione poiché contiene le osservazioni della Terra e della Luna con la maggiore scala spaziale e che saranno utilizzate più avanti per verificare l'intero processo di calibrazione.

Le due matrici di flat-field risultanti sono graficate in Figura 5.13. Sulla regione interessata alla variazione del segnale, ovvero tra $120 \leq s \leq 255$ e tra $130 \leq b \leq 240$ si procede al calcolo del rapporto:

$$ratio(b, s) = \frac{flat_field_{post}(b, s)}{flat_field_{pre}(b, s)} \quad (5.3)$$

questa grandezza diverge da 1 in corrispondenza dei punti in cui si ha un aumento o una diminuzione del segnale della lampada in seguito alla comparsa della rottura del filtro; dopo un'analisi dei risultati ottenuti si é verificato che ponendo una soglia di differenza massima dell'1.5% é possibile individuare e compensare la risposta dei pixel interessati al fenomeno. In sostanza se sono verificate una delle due condizioni seguenti:

$$ratio(b, s) \geq 1.15 \quad (5.4)$$

$$ratio(b, s) \leq 0.985 \quad (5.5)$$

allora la matrice di responsività viene corretta nel modo seguente:

$$resp_{post}(b, s) = \frac{flat_field_{post}(b, s) \cdot resp_{pre}(b, s)}{flat_field_{pre}(b, s)} \quad (5.6)$$

Nel caso in cui invece $0.985 < ratio(b, s) < 1.15$ si mantiene $resp_{post}(b, s) = resp_{pre}(b, s)$. La matrice di responsività corretta per l'evoluzione del piano focale IR é mostrata in Figura 5.14. In sezione 5.6 saranno mostrati i risultati ottenuti applicando questa responsività a diversi oggetti osservati in volo da VIRTIS-M.

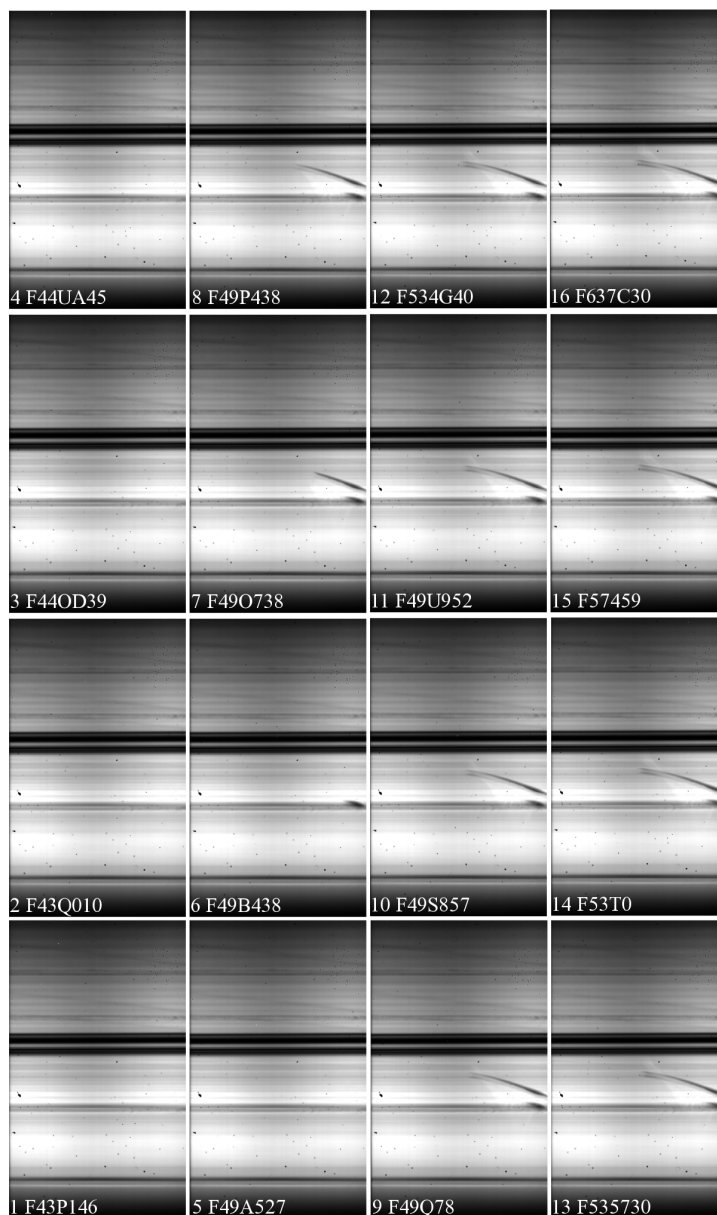


Figura 5.10: *Evoluzione temporale della variazione della risposta di VIRTIS-M-IR in volo sui 16 frame di acquisizione della lampada -IR. A partire dalla sessione F49B438 compare una prima zona di diminuzione del segnale attorno al sample=245, band=162; dalla successiva F49O738 compare una seconda regione che partendo dal bordo del piano focale (sample=256, band=178) si estenderà progressivamente oltre il centro fenditura fino alla sessione F637C30 (sample=120, band=210).*

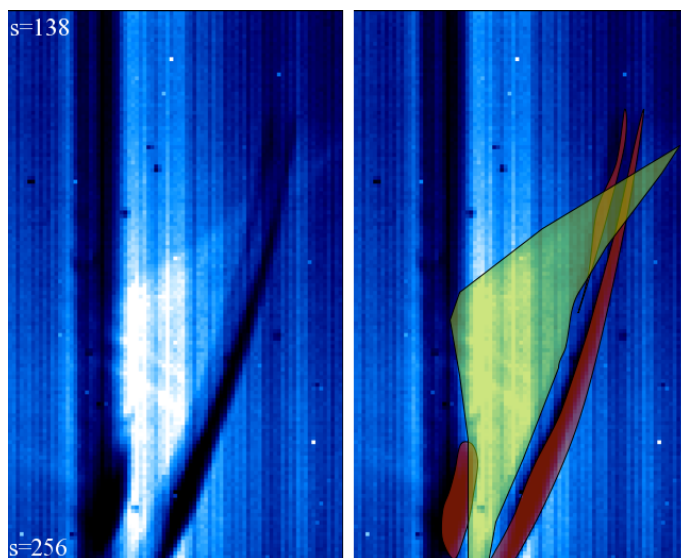


Figura 5.11: Variazione della risposta di VIRTIS-M-IR in volo (sessione F49S857) sul frame di acquisizione della lampada -IR. In corrispondenza delle due rotture concoidi (indicate in rosso sul pannello di destra) si osserva una diminuzione del segnale; sulla regione triangolare (indicata in verde) parzialmente sovrapposta a queste si ha un lieve aumento del segnale.

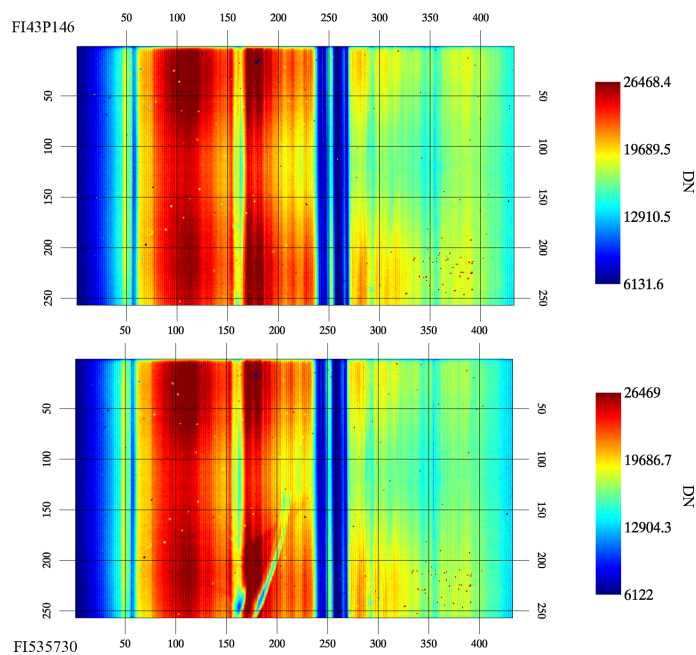


Figura 5.12: Comparazione della risposta di VIRTIS-M-IR in volo sul frame di acquisizione della lampada -IR pre (FI43P146, in alto) e post comparsa della rottura del filtro (FI535730, in basso).

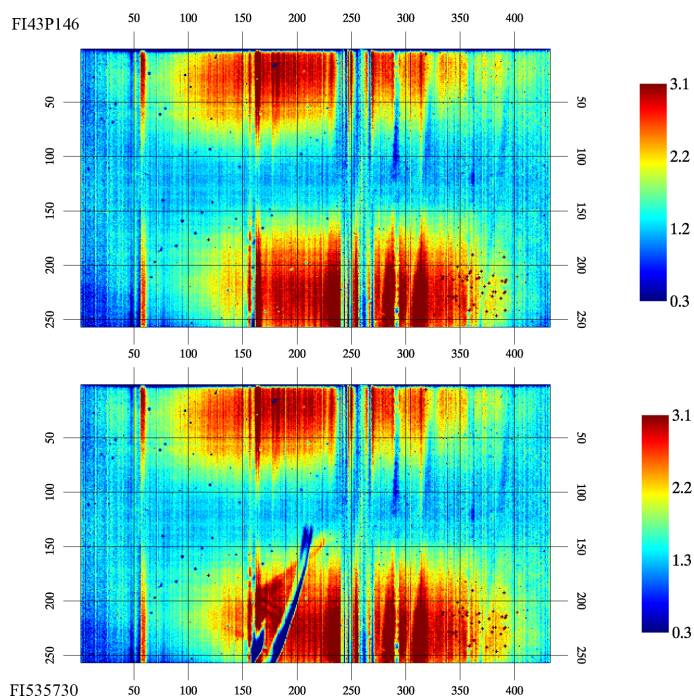


Figura 5.13: Comparazione delle matrici di flat-field di VIRTIS-M-IR in volo ricavate dal frame di acquisizione della lampada -IR pre (FI43P146, in alto) e post comparsa della rottura del filtro (FI535730, in basso).

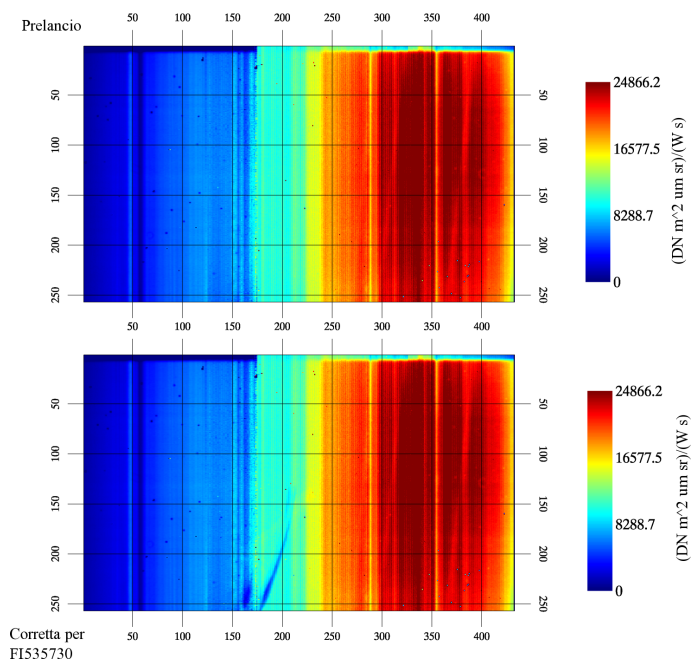


Figura 5.14: Comparazione delle matrici di responsività di VIRTIS-M-IR misurata a terra (in alto) e corretta in volo per la rottura del filtro del piano focale IR (FI535730, in basso).

5.2 Misura della straylight in volo

*2nd law of Astroimaging:
Astronomy is photon limited.*

R. Berry, J. Burnell

La valutazione della contaminazione del segnale da parte di un target brillante (Sole, pianeta) posto nelle immediate vicinanze del FOV osservato, rappresenta uno dei maggiori problemi che si incontrano nell'analisi dei dati degli spettrometri ad immagine. La valutazione di questo effetto in condizioni di laboratorio risulta essere particolarmente difficile in quanto le limitazioni del setup sperimentale, in particolare le dimensioni della finestra della camera a termovuoto, impediscono l'osservazione di sorgenti estese poste molto al di fuori dell'asse ottico. Nelle condizioni di laboratorio l'effetto può essere valutato mediante la misura del rapporto tra il segnale di una sorgente posta a boresight e quello della stessa sorgente posta ad un angolo esterno al FOV; visto che in questo secondo caso il segnale diventa comparabile al livello della dark current, si rende necessario aumentare il flusso fotonico allungando i tempi di integrazione per la misura fuori asse e schermato la sorgente durante la misura al boresight con un filtro attenuatore di risposta spettrale nota. Chiaramente questo metodo fornisce solo una valutazione sommaria dell'effetto che può essere maggiormente stimato pianificando appropriate misure in volo.

Durante la commissioning di Rosetta-VIRTIS-M si é avuta la possibilità di misurare la straylight fuori campo mediante il puntamento del satellite ad angoli di 45°, 35° e 20° dal Sole. Per ciascun angolo é stata fatta una scansione sul fondo cielo con due tempi di integrazione (25 e 50 s per il VIS; 10 e 20 s per l'IR); la fenditura dello spettrometro é posta ortogonalmente al vettore di minima distanza Sole-boresight in modo da minimizzare gradienti di segnale ai due estremi del FOV. Per ciascun tempo di esposizione é acquisita anche la dark current che viene sottratta dai frames di fondo cielo. Nelle Tabelle 5.2-5.3 sono riportati i parametri delle misure e la statistica del segnale sui frames di dark current e di fondo cielo per le 3 osservazioni della sequenza.

Sessione	Misura	Lines	texp (s)	α	Min	Max	Media	Stdev	Figura
FV49UA25	Dark	0	25	45°	72.00	1965.00	76.67	8.00	5.15
FV49UA25	Sky	1÷6	25	45°	-1888.51	1704.67	-0.06	9.84	5.15
FV49UA25	Dark	7	50	45°	72.00	1512.00	76.86	5.42	5.15
FV49UA25	Sky	8÷12	50	45°	-1436.00	505.80	-0.04	6.02	5.15
FV49UB5	Dark	0	25	35°	74.00	518.00	158.37	71.98	5.17
FV49UB5	Sky	1÷6	25	35°	-265.33	145.67	3.11	3.18	5.17
FV49UB5	Dark	7	50	35°	74.00	1454.00	241.22	144.47	5.17
FV49UB5	Sky	8÷12	50	35°	-1078.40	4189.00	2.75	16.42	5.17
FV49UC5	Dark	0	25	20°	74.00	2972.00	559.05	680.99	5.19
FV49UC5	Sky	1÷6	25	20°	-2522.17	1623.83	6.90	11.58	5.19
FV49UC5	Dark	7	50	20°	75.00	5924.00	1048.06	1373.54	5.19
FV49UC5	Sky	8÷12	50	20°	-531.40	4068.00	4.95	17.38	5.19

Tabella 5.2: Misure e statistica sui frames di straylight in volo di Rosetta-VIRTIS-M-VIS.

Dall'analisi delle acquisizioni del canale -VIS (Figure 5.15, 5.17, 5.19) risulta chiaramente che i frames di dark current sono fortemente contaminati da luce solare che entra nello

Sessione	Misura	Lines	t_{exp} (s)	α	Min	Max	Media	Stdev	Figura
FI49UA25	Dark	0	10	45°	6127.00	26531.00	11699.00	6734.99	5.16
FI49UA25	Sky	1÷6	10	45°	-8340.50	11156.67	34.76	90.35	5.16
FI49UA25	Dark	7	20	45°	6125.00	26520.00	12812.49	6743.14	5.16
FI49UA25	Sky	8÷12	20	45°	-13414.40	9388.20	58.43	131.50	5.16
FI49UB5	Dark	0	10	35°	6131.00	26536.00	11805.98	6769.08	5.18
FI49UB5	Sky	1÷6	10	35°	-7423.33	13982.33	181.53	137.39	5.18
FI49UB5	Dark	7	20	35°	6129.00	26521.00	12986.84	6786.16	5.18
FI49UB5	Sky	8÷12	20	35°	-9056.40	8254.20	99.70	130.55	5.18
FI49UC5	Dark	0	10	20°	6131.00	26532.00	12019.74	6832.62	5.20
FI49UC5	Sky	1÷6	10	20°	-14806.00	3867.17	256.33	209.36	5.20
FI49UC5	Dark	7	20	20°	6130.00	26517.00	13368.22	6926.09	5.20
FI49UC5	Sky	8÷12	20	20°	-15226.60	10948.20	160.06	207.55	5.20

Tabella 5.3: Misure e statistica sui frames di straylight in volo di Rosetta-VIRTIS-M-IR.

spettrometro; la regione maggiormente interessata a questo effetto é quella posta a $b > 250$ in cui si osserva un progressivo aumento del segnale con l'aumentare del tempo di integrazione e con la diminuzione dell'angolo di fase solare (vedi valori tabulati in Tabella 5.2); tale effetto é valutabile in circa 5000 DN sopra il livello della dark current per l'acquisizione FV49UC5 (Figura 5.19) ottenuta con un tempo di integrazione di 50 s ed ad un angolo di fase solare di 20°. Molto probabilmente questo fenomeno é generato dalla luce solare che dopo aver investito il baffle esterno o il radiatore raggiunge parte del piano focale -VIS mediante riflessioni sulle componenti interne. Sui frames di osservazione del fondo cielo, corrispondenti al segnale sottratto delle precedenti dark current, l'effetto della contaminazione della luce solare risulta essere ridotto a pochi DN, chiara evidenza del fatto che la straylight indotta si mantiene costante nelle acquisizioni di dark current e di fondo cielo.

Per quanto riguarda il canale -IR non si osserva alcuna contaminazione da parte di luce proveniente dall'esterno dello strumento sul segnale della dark current e del fondo cielo (Figure 5.16, 5.18, 5.20). Sui frames di dark current si può osservare come la regione di saturazione nel termico inizi alla band ≈ 360 per le misure con tempo di integrazione 10 s ed alla band ≈ 350 per quelle con 20 s; le corrispondenti regioni del piano focale sulle misure di fondo cielo sono naturalmente sature. Sul fondo cielo della sessione FI49UA25 (pannello in basso a destra della Figura 5.16) si osserva un aumento del segnale (≈ 178 DN su un fondo di ≈ 60 DN) centrato sulla posizione $b=220$, $s=65$; su tutte le acquisizioni del canale -IR questa struttura sembra essere la sola traccia di contaminazione della luce solare. Sulle rimanenti misure di fondo cielo sono osservabili le strutture verticali lungo l'intera estensione della fenditura causate dai filtri d'ordine e la regione interessata alla rottura del filtro descritta nel paragrafo precedente. In questo caso a parità di tempo di integrazione, il valor medio delle dark current riportate in Tabella 5.3 risultano essere comparabili tra loro ed indipendenti dall'angolo di fase solare.

La discussione degli effetti della straylight -VIS di una sorgente in campo é compresa nella successiva sezione 5.3 in cui l'algoritmo di detilt spettrale viene descritto ed applicato a diverse acquisizioni di sorgenti estese e puntiformi adatte a misurare questo effetto.

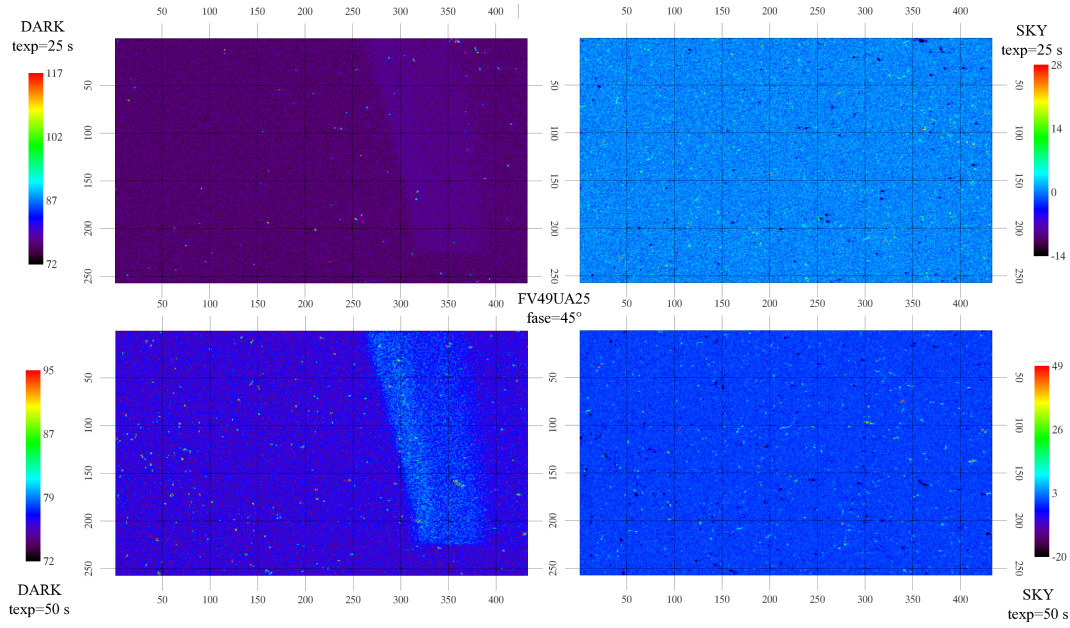


Figura 5.15: Osservazione della straylight in volo di VIRTIS-M-VIS: sessione FV49UA25 ad angolo solare $\alpha = 45^\circ$. Alto: frames di dark current e di fondo cielo con tempo di esposizione $t_{exp} = 25$ s. Basso: frames di dark current e di fondo cielo con tempo di esposizione $t_{exp} = 50$ s.

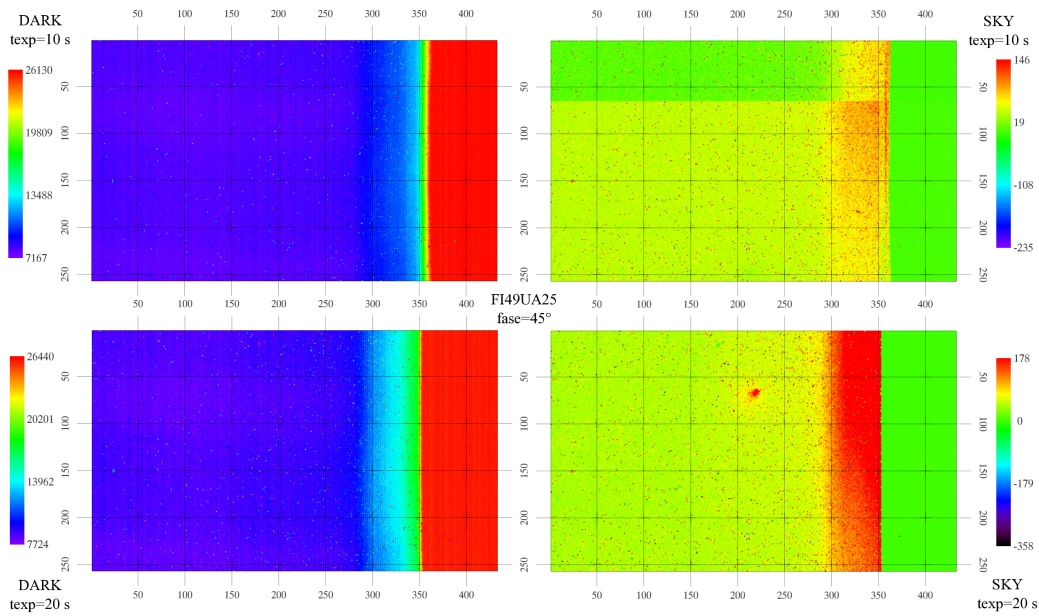


Figura 5.16: Osservazione della straylight in volo di VIRTIS-M-IR: sessione FI49UA25 ad angolo solare $\alpha = 45^\circ$. Alto: frames di dark current e di fondo cielo con tempo di esposizione $t_{exp} = 10$ s. Basso: frames di dark current e di fondo cielo con tempo di esposizione $t_{exp} = 20$ s.

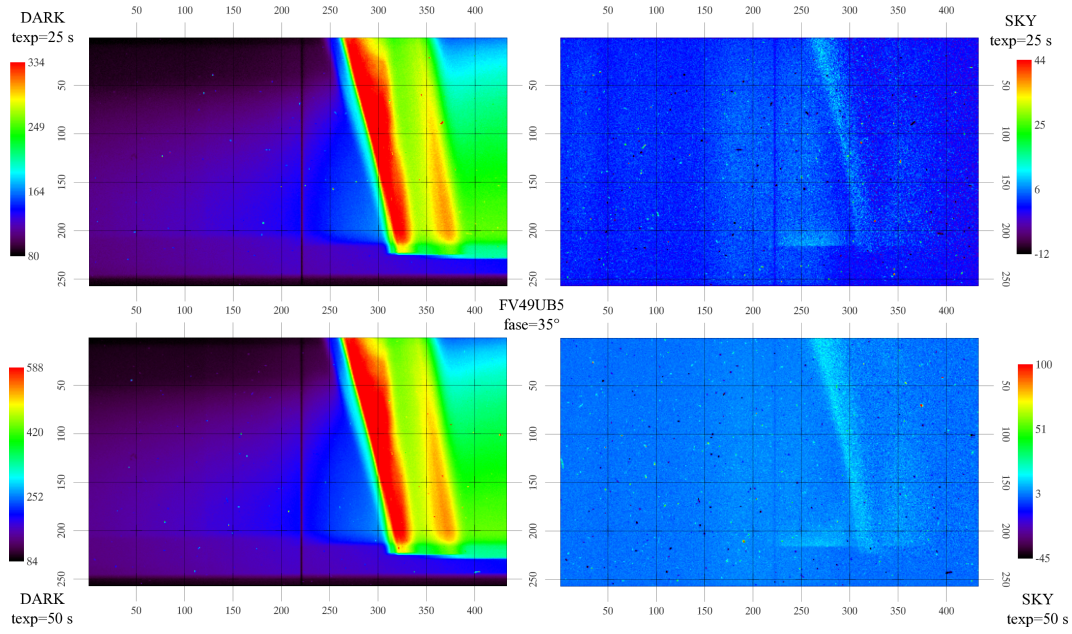


Figura 5.17: Osservazione della straylight in volo di VIRTIS-M-VIS: sessione FV49UB5 ad angolo solare $\alpha = 35^\circ$. Alto: frames di dark current e di fondo cielo con tempo di esposizione $t_{exp}=25$ s. Basso: frames di dark current e di fondo cielo con tempo di esposizione $t_{exp}=50$ s.

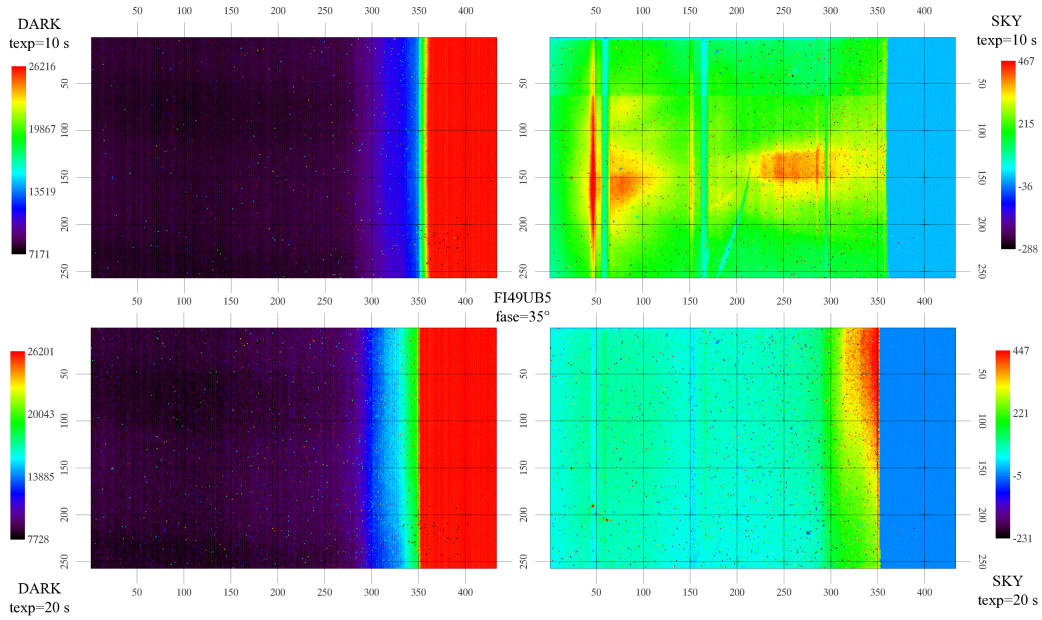


Figura 5.18: Osservazione della straylight in volo di VIRTIS-M-IR: sessione FI49UB5 ad angolo solare $\alpha = 35^\circ$. Alto: frames di dark current e di fondo cielo con tempo di esposizione $t_{exp}=10$ s. Basso: frames di dark current e di fondo cielo con tempo di esposizione $t_{exp}=20$ s.

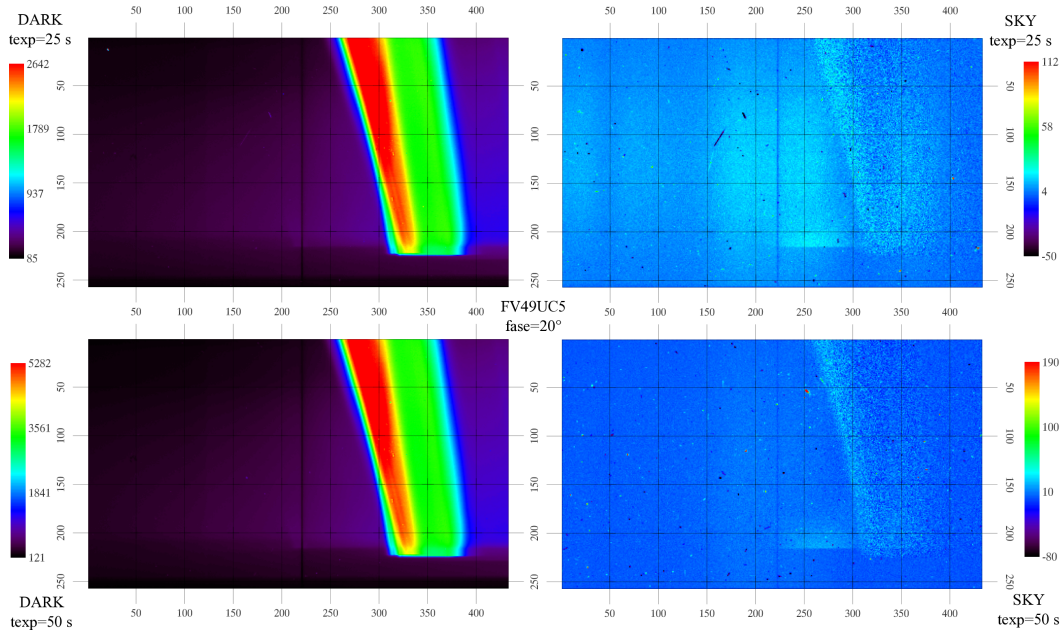


Figura 5.19: Osservazione della straylight in volo di VIRTIS-M-VIS: sessione FV49UC5 ad angolo solare $\alpha = 20^\circ$. Alto: frames di dark current e di fondo cielo con tempo di esposizione $t_{exp}=25$ s. Basso: frames di dark current e di fondo cielo con tempo di esposizione $t_{exp}=50$ s.

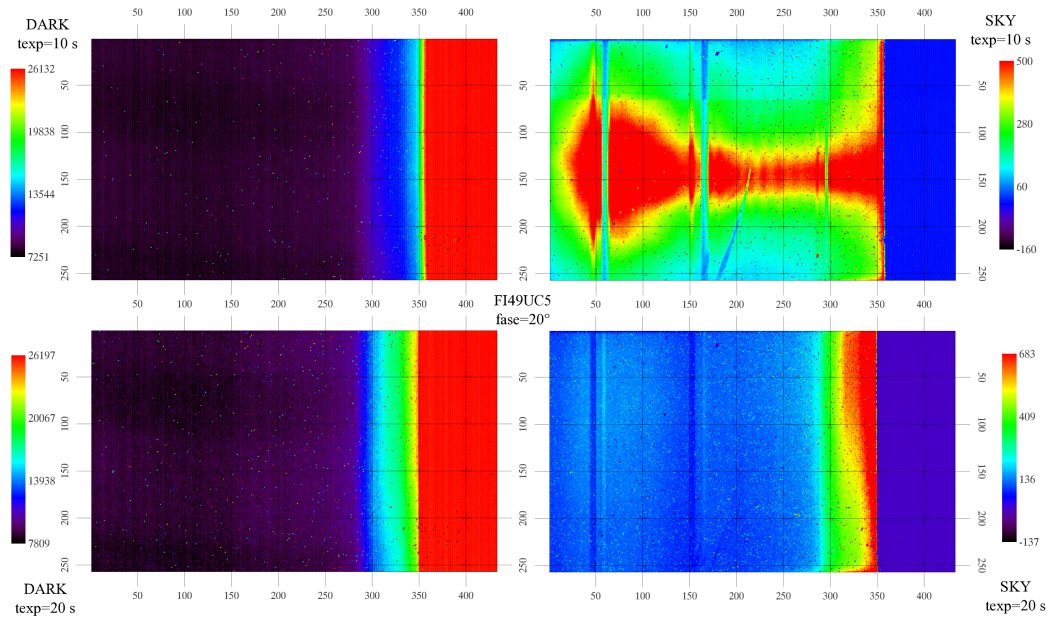


Figura 5.20: Osservazione della straylight in volo di VIRTIS-M-IR: sessione FI49UC5 ad angolo solare $\alpha = 20^\circ$. Alto: frames di dark current e di fondo cielo con tempo di esposizione $t_{exp}=10$ s. Basso: frames di dark current e di fondo cielo con tempo di esposizione $t_{exp}=20$ s.

5.3 Algoritmo di detilt spettrale

3th law of Astroimaging:

Well processed images cannot be improved.

R. Berry, J. Burnell

Come descritto nella precedente sezione 4.3.2 il canale -VIS presenta un evidente tilt spettrale; il risultato di questo fenomeno é lo spostamento di circa 8 sample tra le posizioni delle due immagini monocromatiche corrispondenti agli estremi del range spettrale (alle band=0 e 431). Questo effetto può essere compensato mediante una traslazione di pari entità diretta nel verso opposto dell'asse dei sample. Per far questo é si é ideato il seguente codice IDL che partendo dal dato raw (cubo), provvede al suo detilting mediante successive operazioni di:

- ricampionamento del segnale di ciascun frame su una matrice di 432×20736 pixel espansa di un fattore x80 lungo l'asse della fenditura (corrispondente a 10 volte il valore del tilt misurato durante le calibrazioni a terra, 8 sample);
- traslazione del segnale di tutte le colonne poste alla band=b della frazione di pixel data dall'equazione 4.8 moltiplicata per un fattore 80;
- ricampionamento del segnale del frame corretto sulle dimensioni originali di 432×256 pixel.

```
superframe=fltarr(432,20736)
superframe_detilt=fltarr(432,20480)
cubo_detilt=fltarr(432,256,datalines)

for l=0,datalines-1 do begin
  for s=0,255 do begin
    for ss=0,79 do begin
      superframe(*,s*80+ss)=reform(cubo(0:431,s,l))
    endfor
    for s=0,255 do begin
      for b=0,431 do begin
        bsh=b
        for ss=0,79 do begin
          superframe_detilt(b,s*79+ss)=superframe(b,s*79+ss+bsh)
        endfor
      endfor
    endfor
  endfor
  for s=0,255 do begin
    for b=0,431 do begin
      tot=fltarr(432)
      for ss=0,79 do begin
        tot(b)=superframe_detilt(b,s*80+ss)+tot(b)
      endfor
      cubo_detilt(b,s,l)=tot(b)/80.0
    endfor
  endfor
endfor
```

Il dato del canale -VIS subisce un notevole miglioramento in seguito all'applicazione di questo algoritmo, sia da un punto di vista della qualità spaziale delle immagini che dell'accuratezza spettroradiometrica.

I risultati forniti da questo algoritmo sono risultati essere particolarmente utili sia nell'analisi dei dati che nella calibrazione in volo (come discusso in sezione 5.4). Come esempio si riportano in Figura 5.21 le immagini RGB del canale VIS corrispondenti ad una acquisizione della Terra (FV55C30, flyby del 5 marzo 2005, distanza ≈ 250000 Km, risoluzione di 62.5 km/pixel, angolo di fase di 91.1°) prima e dopo l'applicazione dell'algoritmo di detilt (Coradini et al., 2005). L'immagine raw (pannello sinistro) mostra chiaramente un eccesso in luce blu sul limbo dell'emisfero nord (parte superiore dell'immagine) e nel rosso su quello meridionale (parte inferiore dell'immagine). Un effetto analogo é presente sui bordi delle strutture nuvolose più piccole e brillanti. Nel pannello di destra é mostrata la stessa immagine dopo l'applicazione dell'algoritmo: le zone di maggior contrasto (limbi, nuvole) appaiono generalmente più netti e definiti ed anche la risposta cromatica risulta essere maggiormente precisa.

L'annullamento della traslazione tra immagini monocromatiche mediante l'applicazione dal metodo di detilting può essere infine visualizzato grazie al rapporto tra le due immagini monocromatiche $\frac{R(700nm)}{B(440nm)}$ mostrato in Figura 5.22; sull'immagine del rapporto tra le immagini non processate si osserva l'eccesso positivo e negativo di segnale rispettivamente sul limbo settentrionale e meridionale. Lo stesso rapporto sul cubo processato appare maggiormente uniforme.

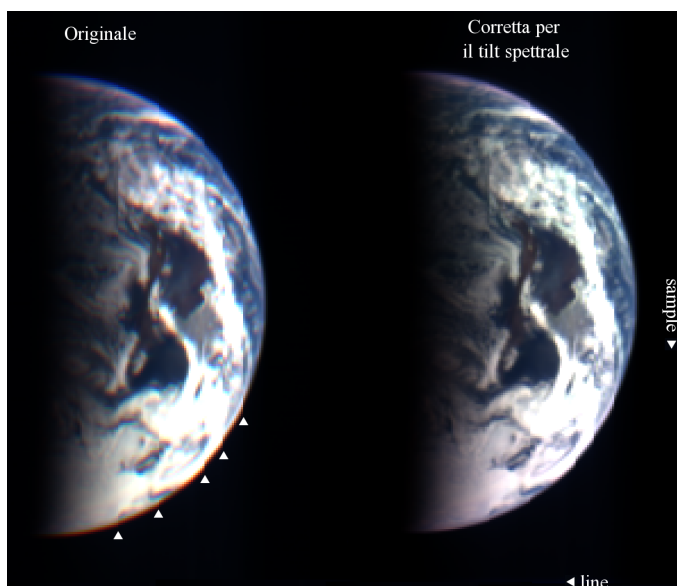


Figura 5.21: Applicazione dell'algoritmo di detilt all'acquisizione della Terra FV535C30 (flyby del 5 marzo 2005, distanza ≈ 250000 Km, risoluzione ≈ 62.5 km/pixel, angolo di fase $\approx 91.1^\circ$). Sinistra: immagine RGB (R 700 nm, G 550 nm, B 440 nm) non calibrata; le cinque frecce indicano le posizioni di alcune lines mancanti (non trasmesse dal satellite). Destra: immagine RGB calibrata e corretta per il tilt spettrale. L'emisfero illuminato comprende le regioni centro meridionali delle Americhe e l'Antartide; notare inoltre la grande percentuale del globo coperto da sistemi nuvolosi.

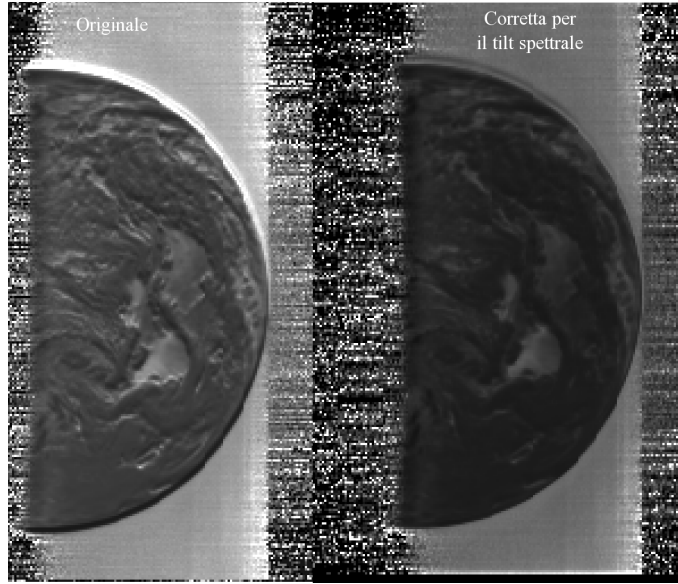


Figura 5.22: *Effetto dell'algoritmo di detilt sull'acquisizione della Terra FV535C30. Sinistra: rapporto tra le immagini $\frac{R(700nm)}{B(440nm)}$ non calibrate; destra: stesso rapporto sulle immagini calibrate in riflettanza e corrette per il tilt spettrale.*

5.4 La correzione della responsività visibile dai dati in volo

*4th law of Astroimaging:
Image processing discard information.
R. Berry, J. Burnell*

Come ampiamente descritto nella precedente sezione 4.6.1, dalle misure di pre-lancio è stato possibile determinare la funzione di responsività del canale -VIS solo a meno di un fattore moltiplicativo. La disponibilità di osservazioni della Luna e l'esperienza acquisita con la calibrazione in volo di VIMS-V (sezione 2.3) ha naturalmente portato all'impiego di un metodo analogo per calibrare VIRTIS-M-VIS.

Tra le diverse acquisizioni della Luna fatte durante il flyby di Rosetta attorno alla Terra (marzo 2005) la più favorevole è risultata essere la FV534H20, compiuta in alta risoluzione con un tempo di integrazione di 20 s; l'osservazione è stata compiuta attorno alle 19:30 del 4 marzo 2005 quando la distanza Luna-Rosetta risultava essere di circa 401634 km e la fase solare di $\Phi = 111^\circ$. In Figura 5.23 sono mostrati i rendering della superficie lunare per questa osservazione centrati sul SOP (Sub Observer Point) e sul SSP (Sub Solar Point) simulate mediante il Solar System Simulator². La linea orizzontale indica l'equatore lunare; il SOP coincide con l'origine del riferimento di coordinate lunari (Lat=Long=0°) posto sul Sinuus Medi; il SSP è nei pressi del cratere Leuschner (Lat=0°, Long=251°). Ai fini della calibrazione si è deciso di utilizzare la regione corrispondente al cratere Kepler (Lat=+8°, Long=321°)

²<http://space.jpl.nasa.gov/>

in quanto sufficientemente contrastato e riconoscibile sull'immagine di VIRTIS-M (Figura 5.24). Il dato raw é stato sottratto della dark current e corretto per il tilt spettrale in modo da compensare l'effetto degli ordini IR; si noti infatti la drastica riduzione dell'aberrazione cromatica al limbo del disco ed il maggior contrasto sull'immagine. In Figura 5.25 sono graficati i segnali del cratere Kepler ($s=133$, $l=32$) prima e dopo l'applicazione dell'algoritmo di detilt (sul cubo processato il punto si sposta dal $s=133$ al $s=130$).

Il calcolo della ITF -VIS in volo é stato quindi fatto ricorrendo allo stesso metodo impiegato per calibrare VIMS-V (sezione 2.3), ossia scalando lo spettro di riflettanza del cratere Kepler osservato da terra (McCord et al., 1972b) allo stesso angolo di fase dell'osservazione di VIRTIS-M mediante un modello fotometrico (Lane et Irvine, 1973). Nelle seguenti equazioni 5.8 - 5.15 sono riportati i passaggi necessari alla determinazione della riflettanza effettiva del punto selezionato per la calibrazione. In Figura 5.26 é graficato lo spettro di riflettanza del cratere Keplero osservato ad un angolo di fase $\Phi = 111^\circ$.

$$\begin{aligned} \rho_{Kepler}^{VIRTIS}(\lambda, i = 70^\circ, e = 40^\circ, \Phi = 111^\circ) &= \frac{\rho_{Kepler}^{McCord}(\lambda, \Phi = 47^\circ)}{\rho_{Ap16}^{McCord}(\lambda, \Phi = 6^\circ)} \cdot \\ &\quad \left(\frac{F(\lambda, \Phi = 47^\circ)}{F(\lambda, \Phi = 6^\circ)} \right) \cdot \\ &\quad \rho_{Ap16}^{Pieters}(\lambda, i = 30^\circ, e = 0^\circ, \Phi = 30^\circ) \cdot \\ &\quad \left(\frac{F(\lambda, \Phi = 111^\circ)}{F(\lambda, \Phi = 30^\circ)} \right) \cdot K_{Geom} \end{aligned} \quad (5.7)$$

dove:

- $\rho_{Kepler}^{McCord}(\lambda, \Phi = 47^\circ)$ é la riflettanza del cratere Kepler misurata da Terra; la misura é stata fatta con un angolo di fase $\Phi = 47^\circ$ (McCord et al., 1972b);
- $\rho_{Ap16}^{McCord}(\lambda, \Phi = 6^\circ)$ é la riflettanza del sito di allunaggio dell'Apollo 16 misurata da Terra; la misura é stata fatta con un angolo di fase $\Phi = 6^\circ$ (McCord et al., 1972b);
- $\rho_{Ap16}^{Pieters}(\lambda, i = 30^\circ, e = 0^\circ, \Phi = 30^\circ)$ é la riflettanza di un campione di roccia raccolta sul sito di allunaggio dell'Apollo 16 rappresentativa dell'intera zona; la misura é stata condotta in laboratorio ad un angolo di fase $\Phi = 30^\circ$ (Pieters, 1999).

I due seguenti fattori sono necessari per uniformare i precedenti spettri alla fase dell'osservazione di VIRTIS-M mediante il modello fotometrico (Lane et Irvine, 1973):

$$\frac{F(\lambda, \Phi = 47^\circ)}{F(\lambda, \Phi = 6^\circ)} = 10^{0.4[m(\lambda, \Phi=6^\circ) - m(\lambda, \Phi=47^\circ)]} \quad (5.8)$$

$$\frac{F(\lambda, \Phi = 111^\circ)}{F(\lambda, \Phi = 30^\circ)} = 10^{0.4[m(\lambda, \Phi=30^\circ) - m(\lambda, \Phi=111^\circ)]} \quad (5.9)$$

Infine K_{Geom} é il fattore geometrico necessario per compensare gli angoli di incidenza ed emissione (5.12 - 5.15):

$$K_{Geom} = \frac{\left(\frac{\mu_0}{\mu + \mu_0} \right)_{VIRTIS}}{\left(\frac{\mu_0}{\mu + \mu_0} \right)_{Lab}} = 0.67 \quad (5.10)$$

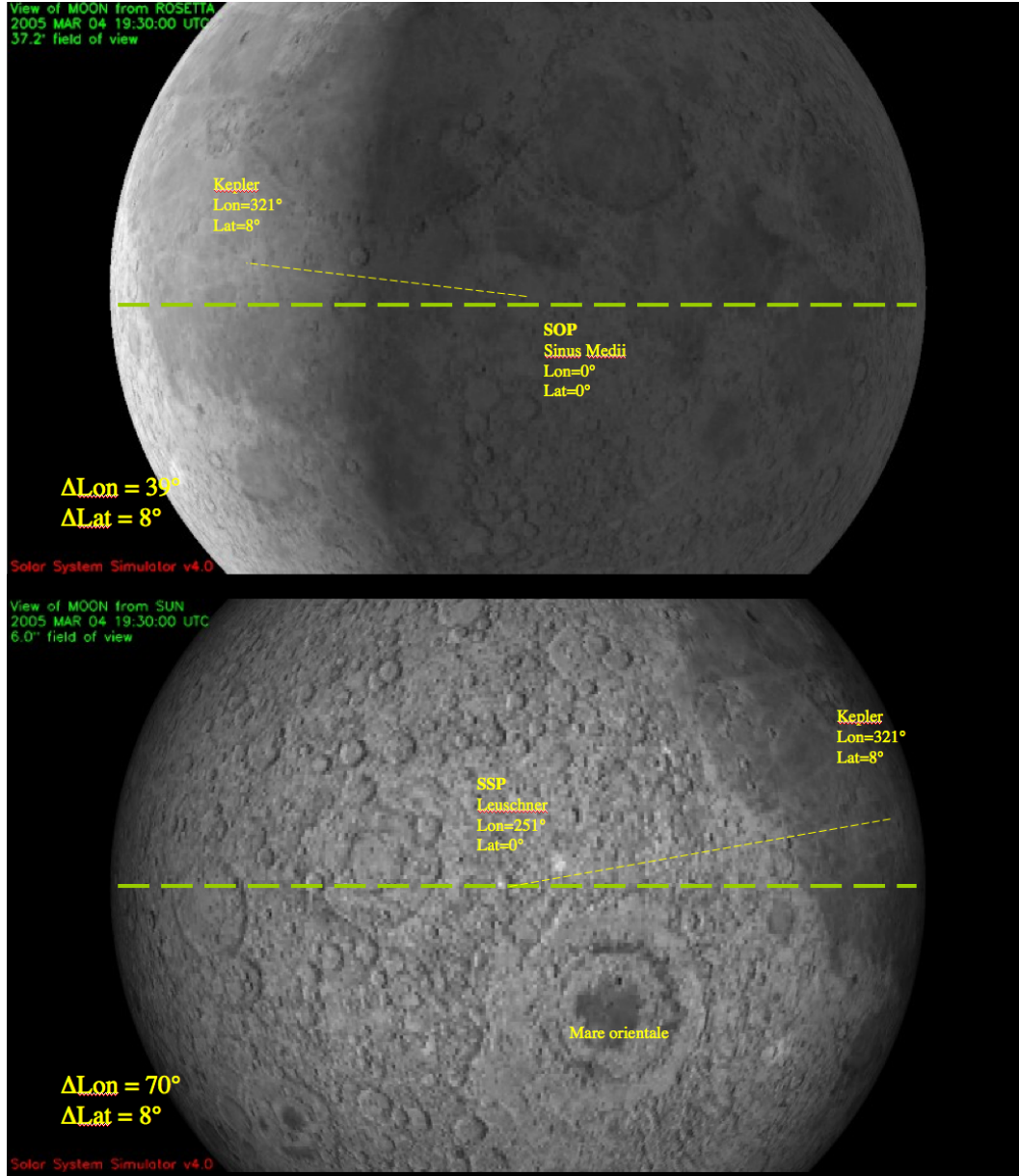


Figura 5.23: Geometria di osservazione della Luna per l'osservazione FV534H20. Alto: centro sul SOP (Sub Observer Point). Basso: centro sul SSP (Sub Solar Point). La posizione del cratere Kepler é indicata sulle due immagini assieme agli angoli di illuminazione ed osservazione. Rendering: Solar System Simulator, <http://space.jpl.nasa.gov/>

$$(\mu_0)_{VIRTIS} = \cos(70^\circ) \quad (5.11)$$

$$(\mu)_{VIRTIS} = \cos(40^\circ) \quad (5.12)$$

$$(\mu_0)_{Lab} = \cos(30^\circ) \quad (5.13)$$



Figura 5.24: Sinistra: immagine RGB (true color) della Luna (acquisizione FV534H20) non calibrata. Destra: immagine RGB (true color) della Luna corretta per il tilt spettrale; la freccia indica la posizione del cratere Keplero utilizzato per la calibrazione radiometrica

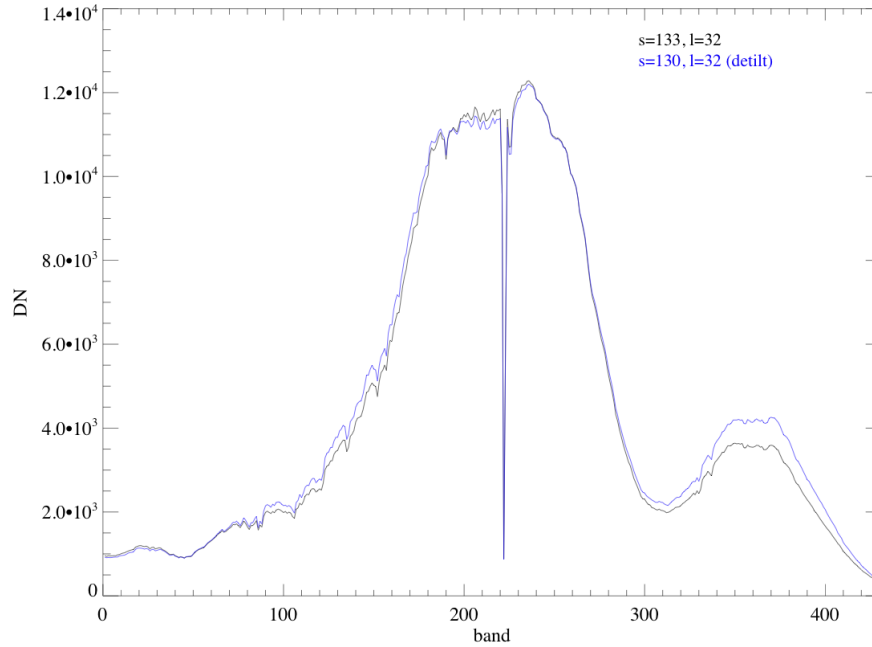


Figura 5.25: Confronto del segnale del cratere Keplero prima e dopo l'applicazione dell'algoritmo di detilt spettrale (osservazione FV534H20).

$$(\mu)_{Lab} = \cos(0^\circ) \quad (5.14)$$

$$(5.15)$$

La radianza corrispondente al cratere Kepler nella geometria osservativa di VIRTIS-M é quindi data da:

$$Rad(\lambda, \Phi = 111^\circ)_{Kepler} = \frac{\rho(\lambda, \Phi = 111^\circ)_{Kepler} \cdot SI(\lambda)}{\pi} \quad (5.16)$$

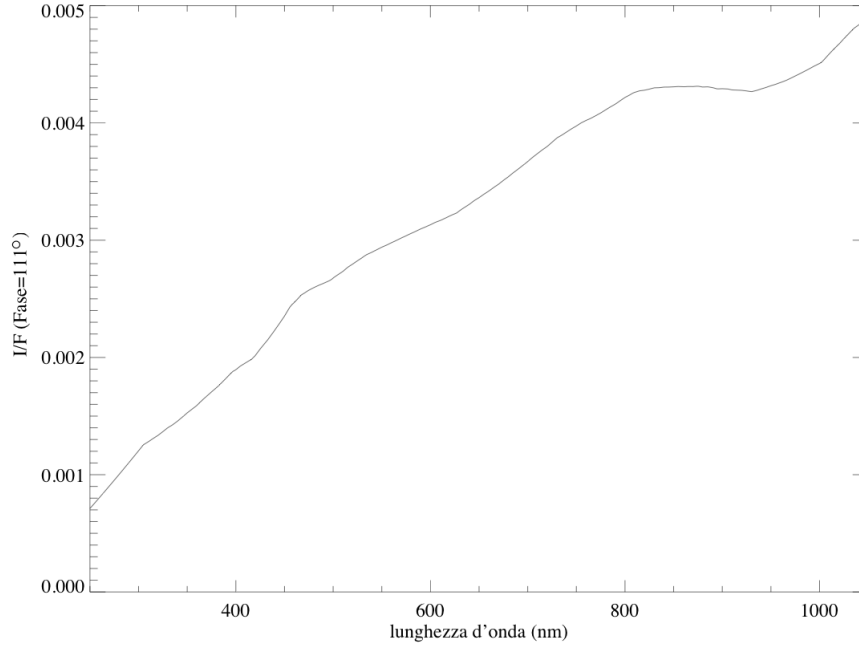


Figura 5.26: *Spettro in riflettanza del cratere Kepler scalato all'angolo di fase ($\Phi = 111^\circ$) dell'osservazione FV534H20 di VIRTIS-M-VIS.*

in cui $SI(\lambda)$ é l'irradianza solare misurata ad 1 AU (Thekaekara, 1973) graficata in Figura 5.27.

La funzione di risposta strumentale sul sample $s=133$ scelto per la calibrazione é quindi dato dalla seguente espressione:

$$ITF(\lambda, s = 133) = \frac{DN(\lambda, s = 133)_{detilt}}{Rad(\lambda, \Phi = 111^\circ) \cdot t_{exp}} \quad (5.17)$$

dove $DN(\lambda, s = 133)_{detilt}$ é il segnale corretto per il tilt spettrale del cratere Kepler, $Rad(\lambda, \Phi = 111^\circ)$ la corrispondente radianza in ingresso e $t_{exp} = 20$ s il tempo di integrazione dell'acquisizione. In Figura 5.28 sono confrontate le ITF al sample $s=133$ ottenute con le misure pre-lancio e con il metodo di calibrazione in volo; dal confronto delle due si trova che il fattore moltiplicativo necessario per scalare la responsività pre-lancio su quella in volo a 520 nm é pari a circa 103.9. Notiamo che l'aumento della ITF a $\lambda < 300$ nm é dovuto all'effetto simultaneo della contaminazione degli ordini IR, del basso segnale dovuto alla scarsa efficienza della CCD verso l'UV (vedi Figura 5.25) e della bassa riflettanza lunare (vedi Figura 5.26) a queste lunghezze d'onda. In tale intervallo spettrale la risposta strumentale é quindi affetta da notevoli incertezze; notiamo tuttavia che questo metodo consente di coprire un maggiore range spettrale rispetto alla ITF valutata durante le misure di pre-lancio che era definita solo per $\lambda > 460$ nm.

La matrice di responsività viene infine calcolata mediante la normalizzazione per il flat-field

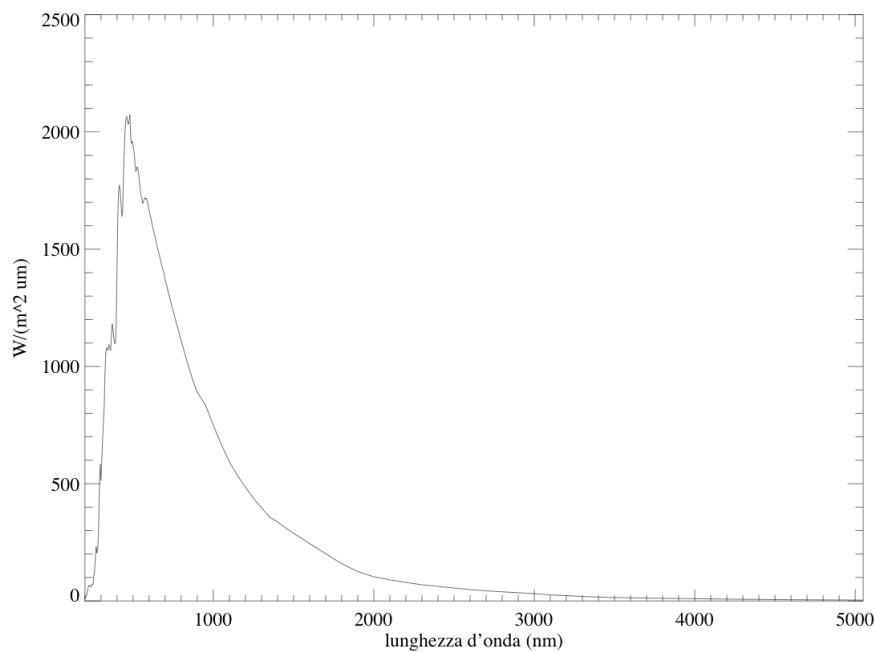


Figura 5.27: Irradianza solare misurata ad 1 AU (Thekaekara, 1973).

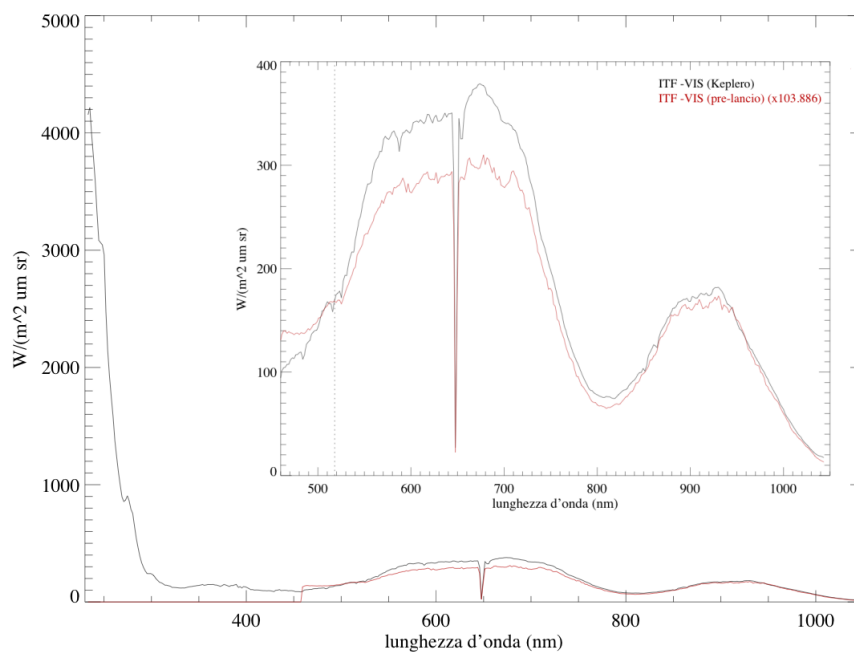


Figura 5.28: Confronto delle ITF di VIRTIS-M-VIS valutate sull' osservazione FV534H20 della Luna (cratere Kepler) e con le misure pre-lancio.

VIS:

$$Resp(b, s) = ITF(b, s = 133) \frac{FF(b, s)}{FF(b, s = 133)} \quad (5.18)$$

La matrice di flat field impiegata continua ad essere quella valutata durante le calibrazioni di pre-lancio e descritta nella sezione 4.4. In Figura 5.29 é mostrata la matrice di responsività misurata sul cratere Kepler ed impiegata nella calibrazione dei dati in volo.

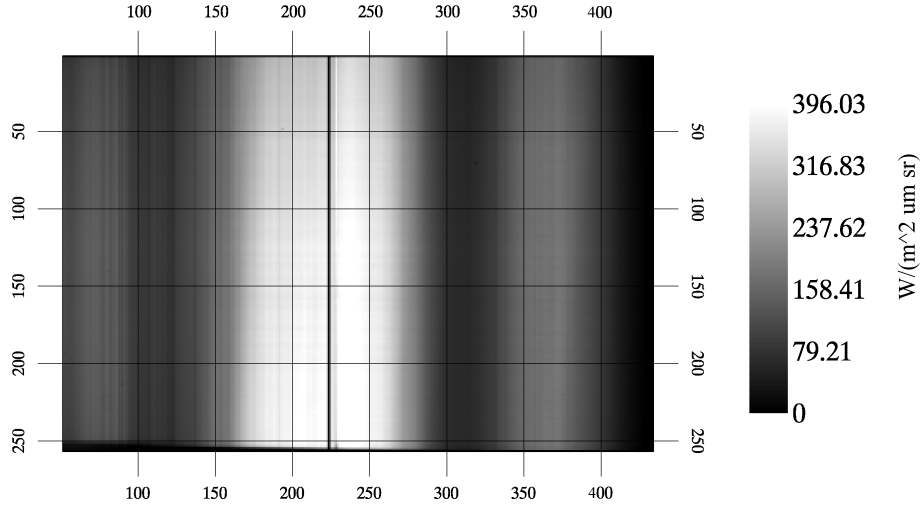


Figura 5.29: Responsività di VIRTIS-M-VIS valutata sull'osservazione FV534H20 della Luna in corrispondenza del cratere Kepler ed estesa alla regione del piano focale $50 < s < 431$ mediante il flat field misurato durante le calibrazioni pre-lancio.

5.5 La pipeline di calibrazione dei dati in volo

5th law of Astroimaging:
With open eyes, with open mind.
R. Berry, J. Burnell

Il Team scientifico di VIRTIS riceve i dati ed i pacchetti di telemetria da Rosetta attraverso l'RSOC (Rosetta Science Operation Center) dell'ESA. Questi pacchetti di dati sono processati presso INAF-IASF di Roma, sede del PI dell'esperimento, mediante un GSE proprietario (Ground Support Equipment). Il GSE é in grado di ordinare i diversi pacchetti di telemetrie e dati nell'ordine temporale di generazione, di provvedere alla loro decompressione ed infine di ordinare i dati di una singola osservazione scientifica all'interno di files in formato PDS (Planetary Data System, vedi Appendici A.2-A.3); mediante il GSE é anche possibile generare i trend files con i parametri ingegneristici dello strumento durante la misura (Appendice A.4). I files PDS sono quindi processati mediante un insieme di procedure scritte in linguaggio IDL (Interactive Data Language) che provvedono alla trasformazione dei dati raw (DN) in unità fisiche di riflettanza, radianza spettrale e temperatura di brillantezza. In queste procedure sono utilizzati i diversi risultati delle misure di calibrazione pre lancio ed in volo descritte nei capitoli 4 e 5 di questa tesi. La procedura di calibrazione dei dati avviene mediante la sequenza dei passaggi riportati in Figura 5.4. Il dato raw, corretto per il tilt (solo per il VIS) e per gli spikes, viene convertito in radianza spettrale ($\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1} \text{sterad}^{-1}$) mediante le equazioni seguenti:

$$Rad(\lambda, s, l)_{VIS} = \frac{DN(\lambda, s, l)_{VIS}}{t_{exp}^{VIS} \cdot Resp(\lambda, s)_{VIS}} \quad (5.19)$$

$$Rad(\lambda, s, l)_{IR} = \frac{DN(\lambda, s, l)_{IR}}{t_{exp}^{IR} \cdot Resp(\lambda, s)_{IR}} \quad (5.20)$$

dove DN sono i conteggi raw, t_{exp} il tempo di integrazione e Resp le funzioni di responsività. La conversione da radianza a riflettanza spettrale (I/F) avviene mediante le equazioni:

$$\rho(\lambda, s, l)_{VIS} = \frac{\pi \cdot D_{\odot}^2 \cdot Rad(\lambda, s, l)_{VIS}}{SI(\lambda, 1 \text{ AU})} \quad (5.21)$$

$$\rho(\lambda, s, l)_{IR} = \frac{\pi \cdot D_{\odot}^2 \cdot Rad(\lambda, s, l)_{IR}}{SI(\lambda, 1 \text{ AU})} \quad (5.22)$$

dove D_{\odot} é la distanza Sole-target (in AU) e SI l'irradianza solare (Thekaekara, 1973). Infine per il solo canale -IR é possibile determinare la temperatura di brillantezza, TB (K), mediante l'equazione:

$$TB(\lambda, s, l) = \frac{hc}{k\lambda} \cdot \frac{1}{\ln \left(\frac{2hc^2}{\lambda^5 Rad(\lambda, s, l)} \right) + 1} \quad (5.23)$$

dove $h=6.62618 \cdot 10^{-34} \text{ Js}^{-1}$ é la costante di Planck, $c=2.99792458 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ é la velocità della luce nel vuoto, $k=1.38066 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ é la costante di Boltzmann (Hanel et al., 1992).

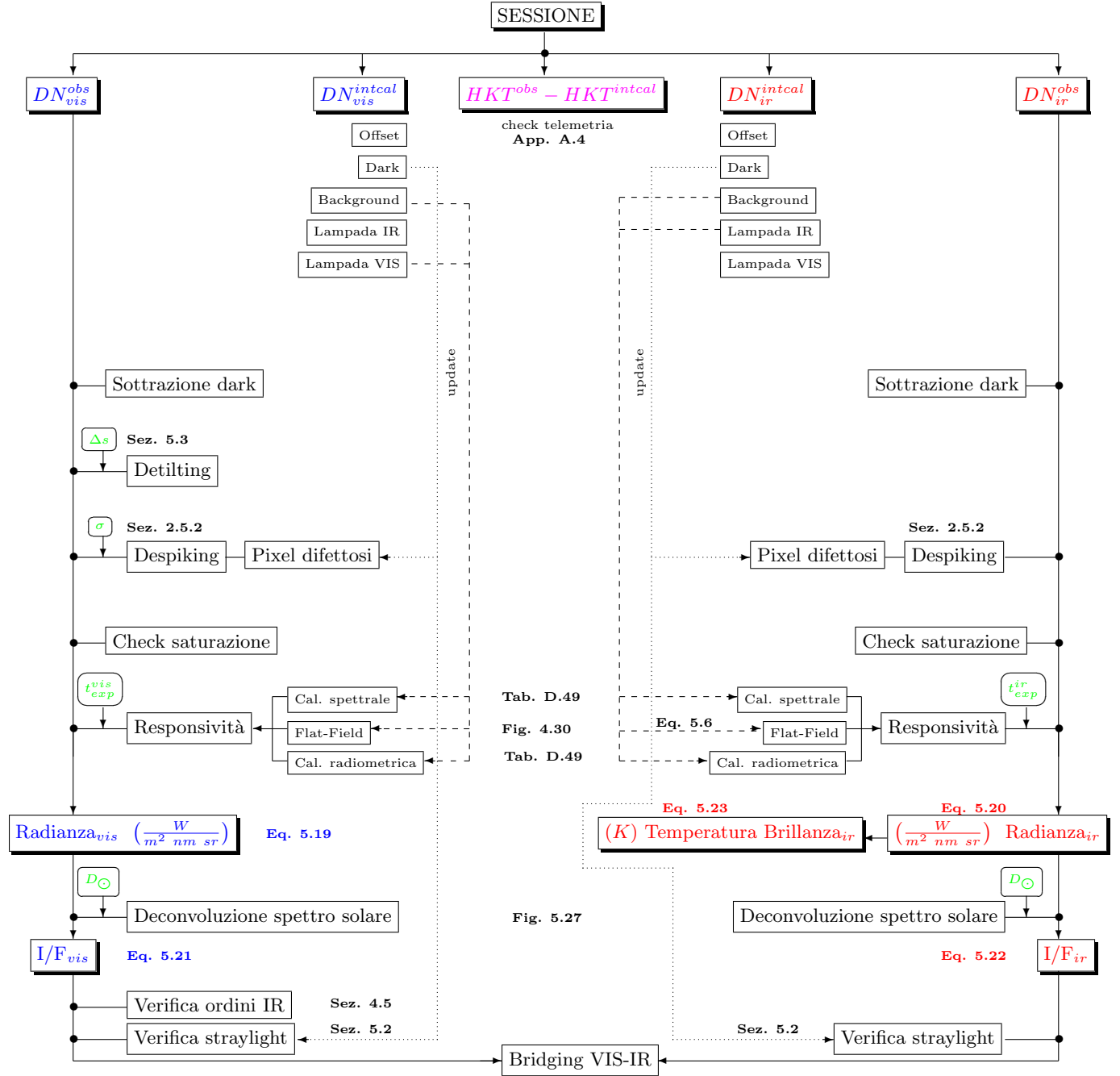


Tabella 5.4: Sequenza di calibrazione di VIRTIS-M. Per i canali -VIS ed -IR è indicata la successione di operazioni con riferimenti alle formule ed alle tabelle di calibrazione applicate; i collegamenti con le acquisizioni delle calibrazioni interne permettono l'aggiornamento della risposta strumentale.

5.6 Verifica dei risultati calibrati

Nei due seguenti paragrafi é inclusa una analisi parziale dei risultati calibrati ottenuti da VIRTIS-M su due diversi target: la Terra e Saturno. Queste misure sono utili per poter verificare le prestazioni dello strumento in volo e la procedura di calibrazione descritta in precedenza.

5.6.1 Terra

L'osservazione della Terra su cui é stata applicata la procedura di calibrazione é quella già considerata nel paragrafo dedicato alla descrizione dell'algoritmo di detilt spettrale (sezione 5.3), ovvero la sessione FV55C30 del 5 marzo 2005. Il tempo di integrazione del canale -VIS é pari a 1.0 sec mentre per il canale -IR di 0.5 sec; su ampie zone del canale -IR il segnale é saturo nel range spettrale 1000-1400 nm; in Figura 5.30 sono riportate le immagini monocromatiche a 1000 nm dei due canali e tre punti su cui é stato estratto lo spettro in riflettanza (Figura 5.31) ed in radianza (Figura 5.32). Gli spettri mostrano in generale un discreto accordo nella zona di sovrapposizione dei due canali; le limitazioni radiometriche e la contaminazione degli ordini IR precedentemente discusse possono generare in alcuni casi una differenza di un fattore $\lesssim 1.5$ della riflettanza tra i due canali. Le principali bande di assorbimento rotovibrazionali delle molecole atmosferiche sono correttamente identificate negli spettri in riflettanza.

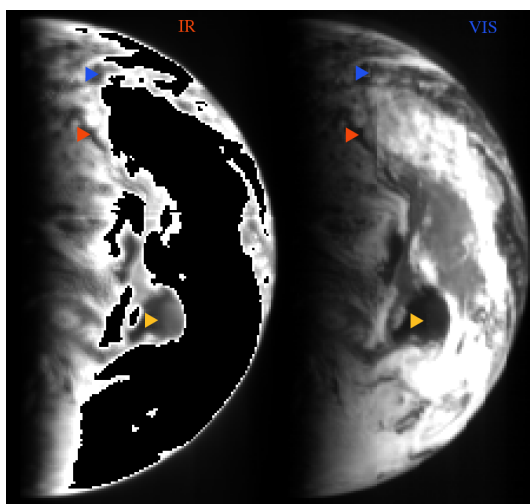


Figura 5.30: Immagini monocromatiche della Terra (osservazioni FV535C30-FI535C30) calibrate in riflettanza a 1000 nm ottenute dai canali -IR (sinistra) e -VIS (destra). Le tre frecce colorate indicano i punti su cui é stato verificato il raccordo del segnale calibrato tra i due canali (vedi Figure 5.31 - 5.32). Le regioni indicate in nero sull'immagine -IR corrispondono a zone di segnale saturo a 1000 nm.

Si riporta infine in Figura 5.33 la mappa della temperatura di brillantezza valutata a 5000 nm mediante l'equazione 5.23 supponendo una emissività $\epsilon = 1$. Alle lunghezze d'onda

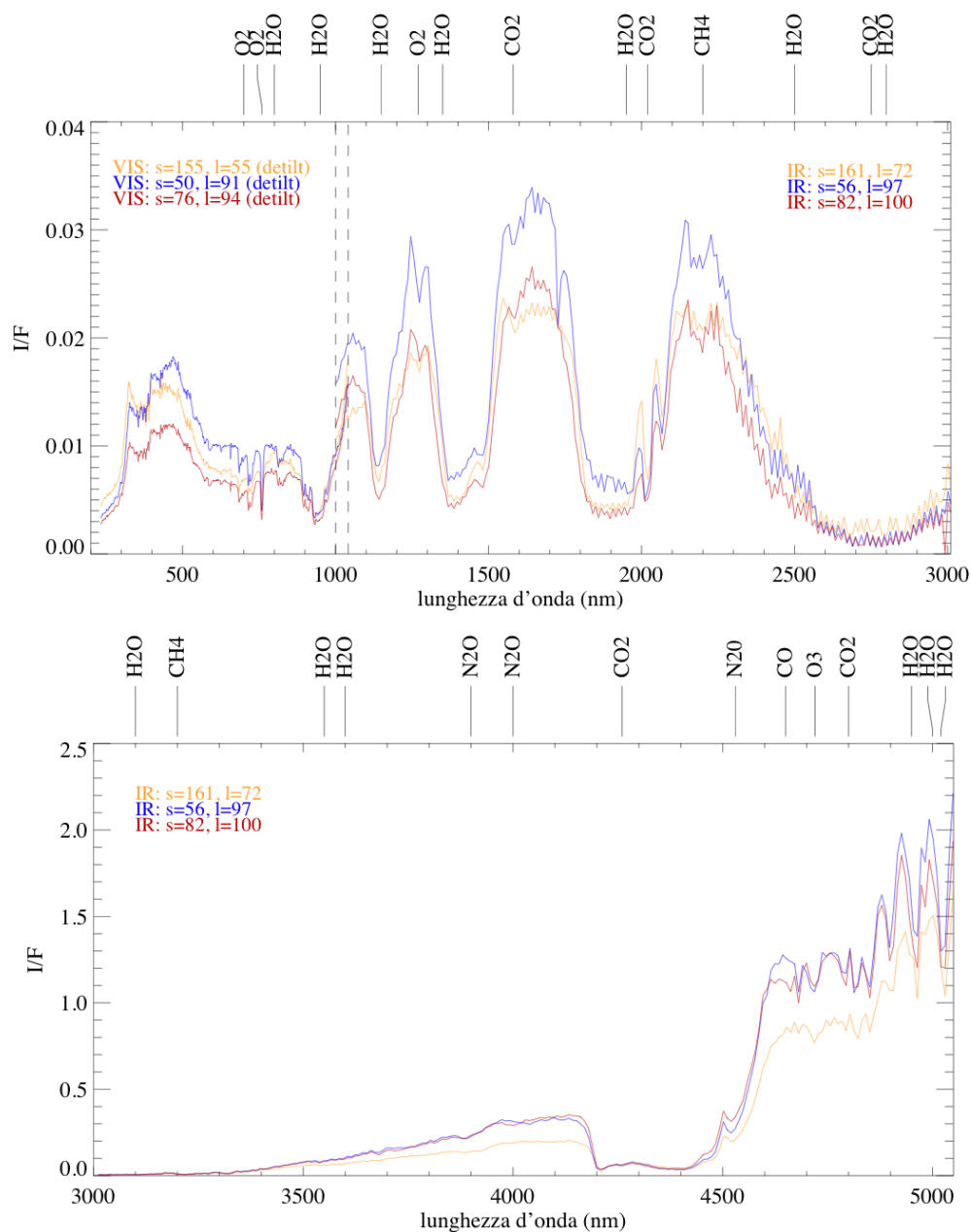


Figura 5.31: Riflettanza spettrale VIS-IR della Terra e verifica del raccordo del segnale tra i due canali. I tre spettri sono estratti in corrispondenza dei punti indicati in Figura 5.30. Sono indicate le principali bande di assorbimento molecolari (H_2O , CO_2 , O_2 , O_3 , CO , N_2O , CH_4) dell'atmosfera terrestre. Alto: range spettrale 250-3000 nm. Basso: range spettrale 3000-5000 nm.

dell'infrarosso termico é possibile osservare una forte emissione anche sull'emisfero notturno della Terra.

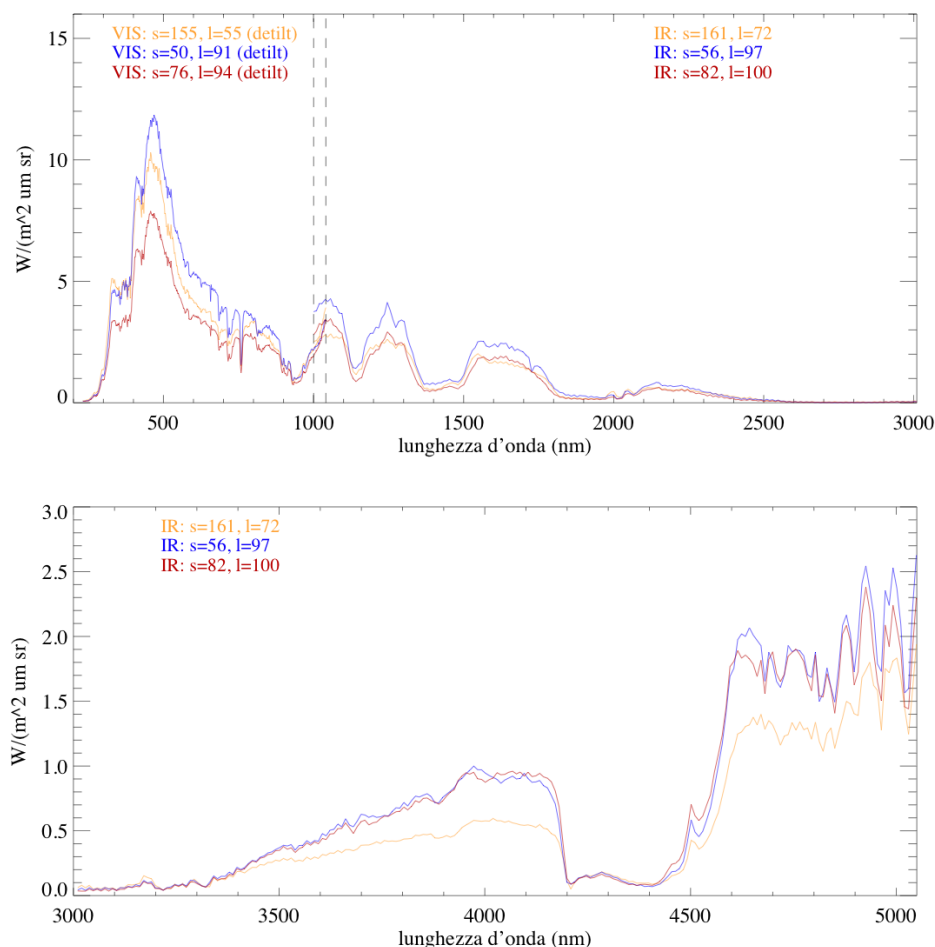


Figura 5.32: *Radianza spettrale VIS-IR della Terra e verifica del raccordo del segnale tra i due canali. I tre spettri sono estratti in corrispondenza dei punti indicati in Figura 5.30. Alto: range spettrale 250-3000 nm. Basso: range spettrale 3000-5000 nm.*

5.6.2 Saturno

L'ultima verifica della calibrazione di VIRTIS-M è stata fatta sull'osservazione F49S930 di Saturno del 28 febbraio 2004 (vedi Figura 5.34). Il disco del pianeta osservato copre un diametro angolare di circa 18.7 arcsec ($90 \mu\text{rad}$, $\approx 1/3$ di pixel); il tempo di integrazione del canale -VIS è pari a 30 sec mentre per il canale IR è di 15 sec. Il segnale del canale -IR è saturo per $\lambda > 3700 \text{ nm}$ (saturazione della dark current). Lo spettro di VIRTIS-M-VIS graficato in Figura 5.35 è ottenuto dopo aver applicato la procedura di calibrazione completa di detilt da una media di 6 pixel; questo è stato fatto per poter raccogliere tutti i contributi del segnale dispersi su pixel adiacenti. Lo spettro è quindi una convoluzione del segnale del disco di Saturno e del suo sistema di anelli; questo è confrontato con una analoga osservazione fatta da VIMS-V (Saturno più anelli) e con una misura fatta da Terra (Karkoschka, 1994); gli spettri sono stati normalizzati a 825 nm per rimuovere gli effetti di

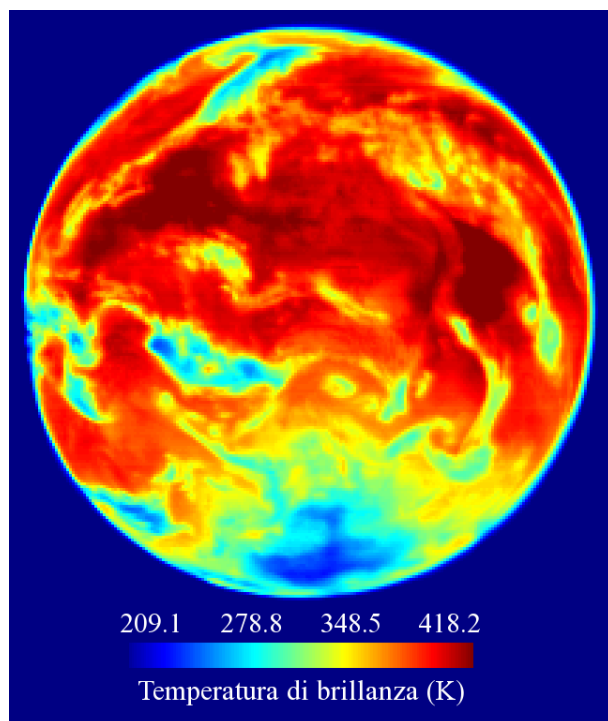


Figura 5.33: Mappa della temperatura di brillantezza ricavata a 5000 nm sull'acquisizione della Terra FI535C30 (emissività $\epsilon = 1$).

diversa illuminazione dovuta alla fase. Le bande atmosferiche del metano e dell'ammoniaca dell'atmosfera di Saturno sono identificate sui tre spettri; per $\lambda > 400\text{nm}$ lo spettro di VIRTIS-M-VIS risulta essere sostanzialmente corretto.

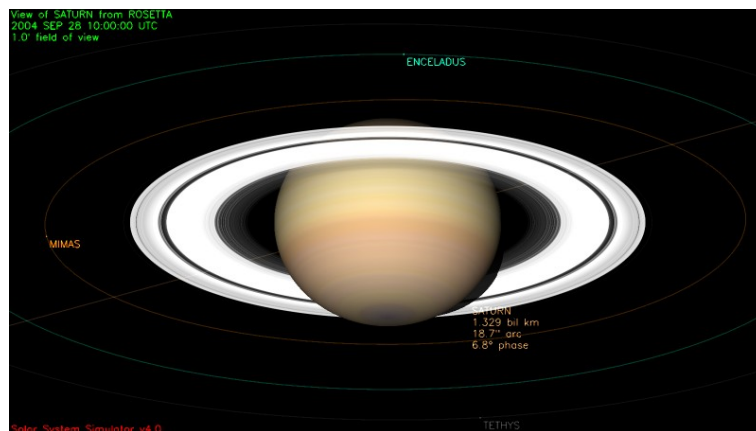


Figura 5.34: Geometria di osservazione di Saturno per l'osservazione F49S930. Rendering: Solar System Simulator, <http://space.jpl.nasa.gov/>.

In Figura 5.36 é invece graficato lo spettro di Saturno nel range $950 < \lambda < 3700\text{ nm}$ misurato

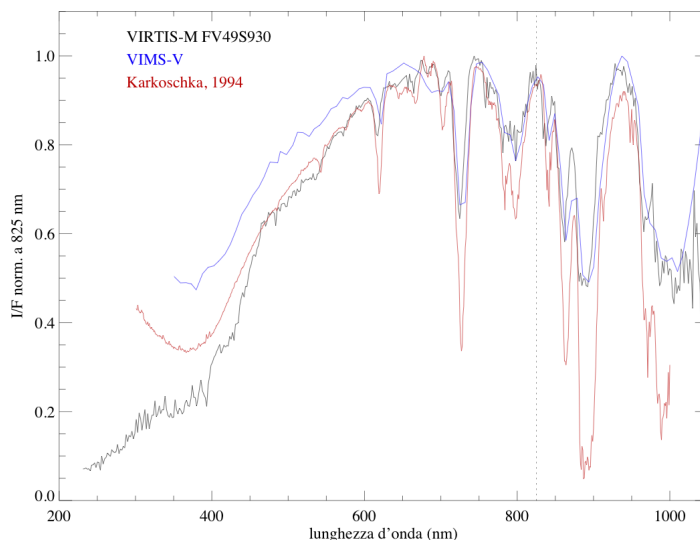


Figura 5.35: Confronto dello spettro in riflettanza full-disk di Saturno ed anelli misurato da VIRTIS-M-VIS sull'osservazione F49S930 con una analoga misura di Cassini-VIMS-V; lo spettro di Karkoschka (1994) si riferisce al solo disco di Saturno.

da VIRTIS-M-IR e confrontato con uno analogo acquisito da Cassini-VIMS-IR. Anche in questo caso le due misure si riferiscono ad una media della riflettanza dell'atmosfera di Saturno e dei suoi anelli. Entrambi gli spettri sono normalizzati al continuo a 1280 nm per rimuovere gli effetti di illuminazione. Diversamente dallo spettro VIS, in questo caso la misura di VIRTIS-M è maggiormente rumorosa; questo è dovuto sia al lungo tempo di esposizione del canale -IR su cui si osserva la saturazione della dark current su una considerevole frazione del piano focale ($\lambda > 3700$ nm) sia alle minori capacità di imaging su sorgenti puntiformi del canale -IR (come descritto nella sezione 4.3.1). Nonostante queste limitazioni le principali strutture presenti nel range $950 < \lambda < 2500$ nm sono identificate sullo spettro in riflettanza.

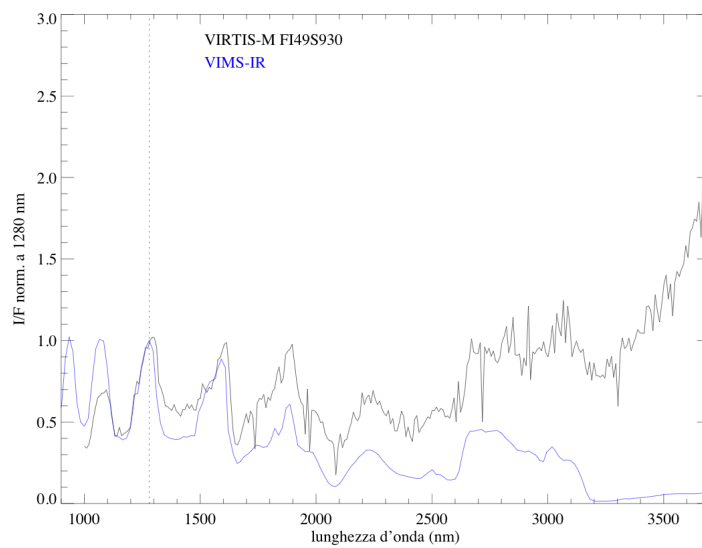


Figura 5.36: Confronto dello spettro in riflettanza full-disk di Saturno ed anelli misurato da VIRTIS-M-VIS sull'osservazione FI49S930 con una analoga misura di Cassini-VIMS-IR; il segnale di VIRTIS-M é saturo per $\lambda > 3700$ nm.

Conclusioni

Quando gli uomini giungono alla meta
non dovrebbero mai voltarsi indietro.

Plutarco

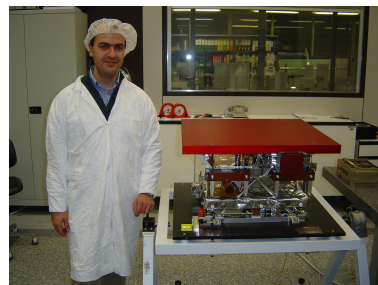
Lo scopo principale di questa tesi é stato quello di esporre il metodo impiegato per la calibrazione di spettrometri ad immagine VIS-NIR dedicati all'esplorazione planetaria. Questi strumenti hanno di fatto rivoluzionato le nostre conoscenze di molti oggetti del sistema solare grazie alla capacità di unire l'imaging all'analisi spettrale. La metodologia impiegata nella caratterizzazione delle diverse risposte strumentali (spettrali, geometriche, spaziali, radiometriche), le misure compiute in laboratorio, gli algoritmi di processamento dei dati, l'impiego dei dati ottenuti in volo per verificare e correggere la procedura di calibrazione sono stati tutti ampiamente descritti, validati e documentati.

Le difficoltà che si sono incontrate durante queste attività sono state di natura diversa ed hanno riguardato sia gli aspetti sperimentali che quelli più propriamente teorici e computazionali; vale la pena ricordare il fatto che i dati di VIMS-V sono contenuti all'interno di uno spazio massimo di $96 \text{ bands} \times 64 \text{ sample} \times 64 \text{ lines}$ per complessivi 393.216 elementi mentre la massima quantità di informazione generata da VIRTIS-M é raccolta in $2 \text{ canali} \times 432 \text{ bands} \times 256 \text{ sample} \times 256 \text{ lines}$ ossia in $56.623.104$ elementi: il processo di calibrazione deve quindi essere in grado di fornire la trasformazione del dato raw (ingegneristico) di ciascuno di questi punti in unità fisiche per tutta la durata dell'esperimento.



Le procedure ed i metodi di calibrazione di Cassini VIMS-V e di Rosetta VIRTIS-M definite nei precedenti capitoli vengono attualmente utilizzate dai rispettivi team scientifici per il processamento dei dati ottenuti dai due strumenti prima di essere rilasciati alla comunità scientifica internazionale.

Ad oggi la calibrazione di VIMS-V é stata applicata a più di 30.000 osservazioni compiute dallo strumento durante lo svolgimento della missione Cassini fornendo sempre risultati con un errore radiometrico relativo dell'ordine del 5%; la calibrazione di VIRTIS-M é stata invece utilizzata per la trasformazione in unità fisiche dei circa 2 Gb di dati fin qui ottenuti. Questo ha permesso la corretta interpretazione scientifica dei dati raccolti dai due esperimenti come risulta dal numero di pubblicazioni prodotte negli ultimi tre anni e riportate di seguito.



L'attività di calibrazione di uno strumento, che inizia fin dalle fasi di integrazione e di test dei suoi singoli componenti, di fatto deve continuare incessantemente ad ogni nuova acquisizione: la caratterizzazione della risposta strumentale nel tempo e la sua verifica con quanto noto in precedenza fa parte di quell'indispensabile lavoro, ignorato da molti, che permette di migliorare progressivamente la qualità del dato scientifico. *Le calibrazioni non finiscono mai.*

6.1 Pubblicazioni scientifiche:

6.1.1 In stampa

G. Filacchione, F. Capaccioni, T. B. McCord, A. Coradini, P. Cerroni, G. Bellucci, F. Tosi, E. D'Aversa, V. Formisano, R. H. Brown, K. H. Baines, J. P. Bibring, B. J. Buratti, R. N. Clark, M. Combes, D. P. Cruikshank, P. Drossart, R. Jaumann, Y. Langevin, D. L. Matson, V. Mennella, R. M. Nelson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, G. Hansen, K. Hibbitts, M. Showalter, S. Newman. Saturn's icy satellites investigated by Cassini-VIMS I. Full-disk properties: 350–5100 nm reflectance spectra and phase curves. *Icarus*, in stampa.

R. M. Nelson, L. Kamp, D. L. Matson, P. G. J. Irwin, K. H. Baines, M. D. Boryta, F. E. Leader, R. Jauman, W. D. Smythe, C. Sotin, R. N. Clark, D. P. Cruikshank, P. Drossart, J. C. Pearl, B. W. Hapke, J. Lunine, M. Combes, G. Bellucci, J.-P. Bibring, F. Capaccioni, P. Cerroni, A. Coradini, V. Formisano, G. Filacchione, R. Y. Langevin, T. B. McCord, V. Mennella, P. D. Nicholson, B. Sicardy. Saturn's Titan: Evidence for Surface Reflectance Change: Implications for Atmospheric and Volcanic Activity. *Nature*, in stampa.

T. B. McCord, G. B. Hansen, B. J. Buratti, R. N. Clark, D.P. Cruikshank, E. D'Aversa, C.A. Griffith, K. H. Baines, R. H. Brown, C. M. Dalle Ore, G. Filacchione, V. Formisano, C. A. Hibbitts, R. Jaumann, J. I. Lunine, R. M. Nelson, C. Sotin, Cassini VIMS Team. Composition of Titan's surface from Cassini VIMS. *Planet. Space Sci.*, in stampa.

P. D. Nicholson, M. M. Hedman, R. N. Clark, M. R. Showalter, D. P. Cruikshank, J. N. Cuzzi, G. Filacchione, F. Capaccioni, P. Cerroni, B. Sicardy, P. Drossart, R. H. Brown, B.

J. Buratti, K. H. Baines, A. Coradini. Saturn's rings as seen by Cassini VIMS. *Icarus*, in stampa.

6.1.2 2006

G. Filacchione, A. Coradini, F. Capaccioni, P. Cerroni, G. Bellucci, R. H. Brown, K. H. Baines, J. P. Bibring, B. J. Buratti, R. N. Clark, M. Combes, D. P. Cruikshank, P. Drossart, V. Formisano, R. Jaumann, Y. Langevin, D. L. Matson, T. B. McCord, V. Mennella, R. M. Nelson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, A. Adriani, M. Moriconi, E. D'Aversa, F. Tosi, F. Colosimo, 2006. VIS-NIR Spectral Properties of Saturn's Minor Icy Moons. *37th Annual Lunar and Planetary Science Conference*, March 13-17, 2006, League City, Texas, abstract no.1271.

G. Filacchione, F. Capaccioni, A. Coradini, P. Cerroni, T. B. McCord, K. H. Baines, G. Bellucci, R. H. Brown, J. P. Bibring, B. J. Buratti, B. J., R. N. Clark, M. Combes, D. P. Cruikshank, P. Drossart, V. Formisano, R. Jaumann, Y. Langevin, D. L. Matson, V. Mennella, R. M. Nelson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, G. Hansen, K. Hibbits, 2005. Full-disk observations of the Saturn's icy moons by Cassini/VIMS. *American Astronomical Society*, DPS meeting #37, #36.03.

R. Jaumann, K. Stephan, R. H. Brown, B. J. Buratti, R. N. Clark, T. B. McCord, A. Coradini, F. Capaccioni, G. Filacchione, P. Cerroni, K. H. Baines, G. Bellucci, J.-P. Bibring, M. Combes, D. P. Cruikshank, P. Drossart, V. Formisano, Y. Langevin, D. L. Matson, R. M. Nelson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, L. A. Soderblom, C. Griffith, K.-D. Matz, Th. Roatsch, F. Scholten, C.C. Porco, 2006. High resolution CASSINI-VIMS mosaics of Titan and the icy Saturnian satellites. *Planet. Space Sci.*, 54, 1146-1155.

F. Tosi, A. Coradini, F. Capaccioni, P. Cerroni, G. Filacchione, G. Bellucci, A. Adriani, M. Moriconi, E. D'Aversa, R. H. Brown, K. H. Baines, J. P. Bibring, B. J. Buratti, R. N. Clark, M. Combes, D. P. Cruikshank, P. Drossart, V. Formisano, R. Jaumann, Y. Langevin, D. L. Matson, T. B. McCord, V. Mennella, R. M. Nelson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, 2006. Iapetus, Phoebe and Hyperion: Are They Related? *37th Annual Lunar and Planetary Science Conference*, March 13-17, 2006, League City, Texas, abstract no.1582.

R. Jaumann, K. Stephan, R. Wagner, G. B. Hansen, R. H. Brown, K. H. Baines, G. Bellucci, J.-P. Bibring, B. J. Buratti, F. Capaccioni, P. Cerroni, R. N. Clark, M. Combes, A. Coradini, D. P. Cruikshank, P. Drossart, G. Filacchione, V. Formisano, C. A. Hibbits, Y. Langevin, D. L. Matson, T. B. McCord, V. Mennella, R. M. Nelson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, 2006. *37th Annual Lunar and Planetary Science Conference*, March 13-17, 2006, League City, Texas, abstract no.1766.

A. Adriani, M. Moriconi, F. Colosimo, A. Coradini, G. Filacchione, R. Orosei, E. D'Aversa, F. Capaccioni, P. Cerroni, G. Bellucci, R. H. Brown, K. H. Baines, J.-P. Bibring, B. J. Buratti, R. N. Clark, M. Combes, D. P. Cruikshank, P. Drossart, V. Formisano, R. Jaumann, Y. Langevin, D. L. Matson, T. B. McCord, V. Mennella, R. M. Nelson, P. D. Nicholson, B.

Sicardy, C. Sotin, 2006. Determination of the Haze Layer Parameters in the Saturn Atmosphere from Cassini-VIMS Images. *37th Annual Lunar and Planetary Science Conference*, March 13-17, 2006, League City, Texas, abstract no. 1584.

M. Moriconi, A. Adriani, Gardini, A., A. Coradini, *G. Filacchione*, R. Orosei, E. D'Aversa, F. Capaccioni, P. Cerroni, G. Bellucci, R. H. Brown, K. H. Baines, J.-P. Bibring, B. J. Buratti, R. N. Clark, M. Combes, D. P. Cruikshank, P. Drossart, V. Formisano, R. Jaumann, Y. Langevin, D. L. Matson, T. B. McCord, V. Mennella, R. M. Nelson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, 2006. Considerations on the Titan Topography Based on the Cassini-VIMS Measurements in the NIR Range. *37th Annual Lunar and Planetary Science Conference*, March 13-17, 2006, League City, Texas, abstract no. 1579.

R. M. Nelson, B. W. Hapke, R. H. Brown, L. J. Spilker, W. D. Smythe, L. Kamp, M. C. Boryta, F. Leader, D. L. Matson, S. Edgington, P. D. Nicholson, *G. Filacchione*, R. N. Clark, J.-P. Bibring, K. H. Baines, B. J. Buratti, G. Bellucci, F. Capaccioni, P. Cerroni, M. Combes, A. Coradini, D. P. Cruikshank, P. Drossart, V. Formisano, R. Jaumann, Y. Langevin, T. B. McCord, V. Mennella, B. Sicardy, C. Sotin, 2006. Cassini Observations of the Opposition Effect of Saturn's Rings-1. *37th Annual Lunar and Planetary Science Conference*, March 13-17, 2006, League City, Texas, abstract no. 1461.

B. W. Hapke, R. M. Nelson, R. H. Brown, L. J. Spilker, W. D. Smythe, L. Kamp, M. C. Boryta, F. Leader, D. L. Matson, S. Edgington, P. D. Nicholson, *G. Filacchione*, R. N. Clark, J.-P. Bibring, K. H. Baines, B. J. Buratti, G. Bellucci, F. Capaccioni, P. Cerroni, M. Combes, A. Coradini, D. P. Cruikshank, P. Drossart, V. Formisano, R. Jaumann, Y. Langevin, T. B. McCord, V. Mennella, B. Sicardy, C. Sotin, 2006. Cassini Observations of the Opposition Effect of Saturn's Rings-2. Interpretation: Plaster of Paris as an Analog of Ring Particles. *37th Annual Lunar and Planetary Science Conference*, March 13-17, 2006, League City, Texas, abstract no. 1466.

T. B. McCord, G. B. Hansen, B. J. Buratti, R. N. Clark, D. P. Cruikshank, E. D'Aversa, C. A. Griffith, K. H. Baines, R. H., Brown, C. M. Dalle Ore, *G. Filacchione*, V. Formisano, C. A. Hibbitts, R. Jaumann, J. I. Lunine, R. M. Nelson, C. Sotin, Cassini Vims Team, 2006. Titan: Surface Composition from Cassini VIMS. *37th Annual Lunar and Planetary Science Conference*, March 13-17, 2006, League City, Texas, abstract no. 1398.

6.1.3 2005

B. W. Hapke, R. M. Nelson, R. H. Brown, L. J. Spilker, W. D. Smythe, L. Kamp, M. C. Boryta, F. Leader, D. L. Matson, S. Edgington, P. D. Nicholson, *G. Filacchione*, R. N. Clark, J.-P. Bibring, K. H. Baines, B. J. Buratti, G. Bellucci, F. Capaccioni, P. Cerroni, M. Combes, A. Coradini, D. P. Cruikshank, P. Drossart, V. Formisano, R. Jaumann, Y. Langevin, T. B. McCord, V. Mennella, B. Sicardy, 2005. Physical Properties of the Saturnian Ring System Inferred from Cassini VIMS Opposition Observations. *American Geophysical Union*, Fall Meeting 2005, abstract #P31D-06.

R. N. Clark, R. H. Brown, K. H. Baines, G. Bellucci, J.-P. Bibring, B. Buratti, F. Capaccioni, P. Cerroni, M. Combes, A. Coradini, A., D. P. Cruikshank, P. Drossart, G. Filacchione, V. Formisano, R. Jaumann, Y. Langevin, D. Matson, T. B. McCord, V. Mennella, R. Nelson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, J. Curchin, T. Hoefen, 2005. Compositional Mapping of Surfaces in the Saturn System with Cassini VIMS: the Role of Water, Cyanide Compounds and Carbon Dioxide. *American Geophysical Union*, Fall Meeting 2005, abstract #P22A-02.

T. B. McCord, G. B. Hansen, E. D'Aversa, K. H. Baines, R. H. Brown, B. J. Buratti, R. N. Clark, D. P. Cruikshank, G. Filacchione, V. Formisano, C. A. Griffith, C. A. Hibbitts, R. Jaumann, J. I. Lunine, R. M. Nelson, L. A. Soderblom, C. Sotin, Cassini VIMS Team, 2005. Composition of Titan's Surface from Cassini VIMS. *American Astronomical Society*, DPS meeting #37, #53.02.

R. N. Clark, R. H. Brown, K. H. Baines, G. Bellucci, J.-P. Bibring, B. Buratti, F. Capaccioni, P. Cerroni, M. Combes, A. Coradini, A., D. P. Cruikshank, P. Drossart, G. Filacchione, V. Formisano, R. Jaumann, Y. Langevin, D. Matson, T. B. McCord, V. Mennella, R. Nelson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, J. Curchin, T. Hoefen, 2005. Cassini VIMS compositional mapping of Surfaces in the Saturn System and the role of water, cyanide compounds and carbon dioxide. *American Astronomical Society*, DPS meeting #37, #39.05.

G. Filacchione, F. Capaccioni, A. Coradini, P. Cerroni, T. B. McCord, K. H. Baines, G. Bellucci, R. H. Brown, J.-P. Bibring, B. J. Buratti, R. N. Clark, M. Combes, D. P. Cruikshank, P. Drossart, V. Formisano, R. Jaumann, Y. Langevin, D. L. Matson, V. Mennella, R. M. Nelson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, G. Hansen, K. Hibbitts, 2005. Full-disk observations of the Saturn's icy moons by Cassini/VIMS. *American Astronomical Society*, DPS meeting #37, #36.03.

6.1.4 2004

R. N. Clark, R. H. Brown, R. Jaumann, D. P. Cruikshank, R. M. Nelson, B. J. Buratti, T. B. McCord, J. Lunine, T. Hoefen, J. M. Curchin, G. Hansen, K. Hibbitts, K. Matz, K. H. Baines, G. Bellucci, J.-P. Bibring, E. Bussoletti, F. Capaccioni, P. Cerroni, A. Coradini, V. Formisano, G. Filacchione, Y. Langevin, D. L. Matson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, 2004. The Surface Composition of Saturn's Moon Phoebe as seen by the Cassini Visual and Infrared Mapping Spectrometer. *American Geophysical Union*, Fall Meeting 2004, abstract #P43B-01.

T. B. McCord, C. A. Griffith, G. B. Hansen, J. I. Lunine, K. H. Baines, R. H. Brown, B. Buratti, R. N. Clark, D. P. Cruikshank, G. Filacchione, R. Jaumann, C. A. Hibbitts, C. Sotin, Cassini VIMS team, 2004. Titan's Surface Composition from the Cassini Visual and Infrared Mapping Spectrometer (VIMS) Investigation. *American Astronomical Society*, DPS meeting #36, #06.02.

G. Bellucci, V. Formisano, E. D'Aversa, R. H. Brown, K. H. Baines, J.-P. Bibring, B. J. Buratti, F. Capaccioni, P. Cerroni, R. N. Clark, A. Coradini, D. P. Cruikshank, P. Drossart,

R. Jaumann, Y. Langevin, D. L. Matson, T. B. McCord, V. Mennella, R. M. Nelson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, C. M. Chamberlain, G. Hansen, K. Hibbits, M. Showalter, M.; *G. Filacchione*, 2004. Principal components analysis of Jupiter VIMS spectra. *Advances in Space Research*, 34, Issue 8, 1640-1646.

V. Formisano, E. D'Aversa, G. Bellucci, R. H. Brown, K. H. Baines, J.-P. Bibring, B. J. Buratti, F. Capaccioni, P. Cerroni, R. N. Clark, A. Coradini, D. P. Cruikshank, P. Drossart, R. Jaumann, Y. Langevin, D. L. Matson, T. B. McCord, V. Mennella, R. M. Nelson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, C. M. Chamberlain, G. Hansen, K. Hibbits, M. Showalter, M.; *G. Filacchione*, 2004. Cassini-VIMS at Jupiter: solar occultation measurements using Io. *Icarus*, 166, Issue 1, 75-84.

Il formato PDS

A.1 Il file PDS di VIMS

In questa prima appendice viene riportato, a titolo di esempio, l'header iniziale di un file PDS di un cubo iperspettrale di Cassini VIMS contenente i dati raw (non calibrati) dei canali VIS ed IR dello strumento.

```
CCSD3ZF0000100000001NJPL3IFOPDS200000001 = CASSFDU_LABEL
/* File Structure */
RECORD_TYPE = FIXED_LENGTH
RECORD_BYTES = 512
FILE_RECORDS =      3844
LABEL_RECORDS =      22
FILE_STATE = CLEAN
/* Pointer to ISIS history label */
^HISTORY =      23
OBJECT = HISTORY
END_OBJECT = HISTORY
/* Qube structure: Standard ISIS Cube of VIMS Data */
^QUBE =      48
OBJECT = QUBE
  AXES = 3
  AXIS_NAME = (SAMPLE,BAND,LINE)
/* Core description. */
CORE_ITEMS = (48,352,54)
CORE_ITEM_BYTES = 2
CORE_ITEM_TYPE = SUN_INTEGER
CORE_BASE = 0.0
CORE_MULTIPLIER = 1.0
```

```

CORE_VALID_MINIMUM = -4095
CORE_NULL = -8192
CORE_LOW_REPR_SATURATION = -32767
CORE_LOW_INSTR_SATURATION = -32766
CORE_HIGH_REPR_SATURATION = -32764
CORE_HIGH_INSTR_SATURATION = -32765
CORE_MINIMUM_DN = -61
CORE_NAME = RAW_DATA_NUMBER
CORE_UNIT = DIMENSIONLESS
/* Suffix description. */
SUFFIX_ITEMS = (1,4,0)
SUFFIX_BYTES = 4
SAMPLE_SUFFIX_NAME = BACKGROUND
SAMPLE_SUFFIX_UNIT = DIMENSIONLESS
SAMPLE_SUFFIX_ITEM_BYTES = 4
SAMPLE_SUFFIX_ITEM_TYPE = SUN_INTEGER
SAMPLE_SUFFIX_BASE = 0.0
SAMPLE_SUFFIX_MULTIPLIER = 1.0
SAMPLE_SUFFIX_VALID_MINIMUM = 0
SAMPLE_SUFFIX_NULL = -8192
SAMPLE_SUFFIX_LOW_REPR_SAT = -32767
SAMPLE_SUFFIX_LOW_INSTR_SAT = -32766
SAMPLE_SUFFIX_HIGH_REPR_SAT = -32764
SAMPLE_SUFFIX_HIGH_INSTR_SAT = -32765
BAND_SUFFIX_NAME = (IR_DETECTOR_TEMP_HIGH_RES_1,
                    IR_GRATING_TEMP,
                    IR_PRIMARY_OPTICS_TEMP,
                    IR_SPECTROMETER_BODY_TEMP_1)
BAND_SUFFIX_UNIT = (DIMENSIONLESS,
                    DIMENSIONLESS,
                    DIMENSIONLESS,
                    DIMENSIONLESS)
BAND_SUFFIX_ITEM_TYPE = (SUN_INTEGER,
                        SUN_INTEGER,
                        SUN_INTEGER,
                        SUN_INTEGER)
BAND_SUFFIX_ITEM_BYTES = (4,4,4,4)
BAND_SUFFIX_BASE = (0.0,0.0,0.0,0.0)
BAND_SUFFIX_MULTIPLIER = (1.0,1.0,1.0,1.0)
BAND_SUFFIX_VALID_MINIMUM = (0,0,0,0)
BAND_SUFFIX_NULL = (-8192,-8192,-8192,-8192)
BAND_SUFFIX_LOW_REPR_SAT = (-32767,-32767,-32767,-32767)
BAND_SUFFIX_LOW_INSTR_SAT = (-32766,-32766,-32766,-32766)
BAND_SUFFIX_HIGH_INSTR_SAT = (-32765,-32765,-32765,-32765)
BAND_SUFFIX_HIGH_REPR_SAT = (-32764,-32764,-32764,-32764)
/* Data description: General */
MISSION_NAME = "CASSINI-HUYGENS"
MISSION_PHASE_NAME = "TOUR PRE-HUYGENS"
INSTRUMENT_HOST_NAME = "CASSINI ORBITER"
INSTRUMENT_NAME = "VISUAL AND INFRARED MAPPING SPECTROMETER"
INSTRUMENT_ID = "VIMS"

```

```

DATA_SET_ID = "CO-S-VIMS-2-EDR-V1.0"
SPACECRAFT_CLOCK_CNT_PARTITION = 1
SPACECRAFT_CLOCK_START_COUNT = "1467520784.188"
SPACECRAFT_CLOCK_STOP_COUNT = "1467521657.158"
NATIVE_START_TIME = "1467520752.13981"
NATIVE_STOP_TIME = "1467521639.15763"
START_TIME = "2004-185T04:14:56.541Z"
STOP_TIME = "2004-185T04:29:43.652Z"
HOUSEKEEPING_CLOCK_COUNT = "1467521603.131"
EARTH_RECEIVED_START_TIME = "2004-185T16:33:35.057Z"
EARTH_RECEIVED_STOP_TIME = "2004-185T16:35:20.092Z"
/* Uplink Data */
SEQUENCE_ID = "S02"
SEQUENCE_TITLE = "VIMS_000TI_FARIRMAP001_CIRS"
OBSERVATION_ID = "VIMS_000TI_FARIRMAP001"
COMMAND_FILE_NAME = "VIMS_000TI_FARIRMAP001_CIRS.V1.ioi"
COMMAND_SEQUENCE_NUMBER = 18
PARAMETER_SET_ID = "VIMS_000TI_FARIRMAP001_CIRS_001"
TELEMETRY_FORMAT_ID = "UNK"
TARGET_NAME = "TITAN"
TARGET_DESC = "TITAN"
IMAGE_OBSERVATION_TYPE = "SCIENCE"
/* Instrument Status (IR, Visible) */
/*   In the following section, parameters with single values apply to */
/*   both the IR and visible portions of the instrument.  Parameters */
/*   with two values apply to the IR and the visible respectively.  For */
/*   parameters with more than two values, see the accompanying comment */
/*   for an indication of how the values are to be applied. */
SAMPLING_MODE_ID = ("HI-RES","HI-RES")
INSTRUMENT_MODE_ID = "IMAGE"
BACKGROUND_SAMPLING_MODE_ID = ("SINGLE","ZERO_SUB")
COMPRESSOR_ID = 1
INST_CMPRS_NAME = "OMEGA"
INST_CMPRS_RATIO = 3.858399
DATA_BUFFER_STATE_FLAG = "ENABLED"
INSTRUMENT_DATA_RATE = 94.208000
POWER_STATE_FLAG = ("ON","ON")
GAIN_MODE_ID = ("LOW","LOW")
EXPOSURE_DURATION = (320.000000,15000.000000)
INTERLINE_DELAY_DURATION = 824.000000
INTERFRAME_DELAY_DURATION = 980.000000
X_OFFSET = 13
Z_OFFSET = 5
SWATH_WIDTH = 48
SWATH_LENGTH = 54
OVERWRITTEN_CHANNEL_FLAG = "OFF"
SPECTRAL_EDITING_FLAG = "ON"
SPECTRAL_SUMMING_FLAG = "OFF"
STAR_TRACKING = "OFF"
SNAPSHOT_MODE = "OFF"
PACKING = "OFF"

```

```

/* IR high resolution, IR low resolution, Visible (degree K) */
DETECTOR_TEMPERATURE = (59.564884,58.395336,233.435440)
/* IR primary, IR secondary, Visible (degree K) */
OPTICS_TEMPERATURE = (133.989594,127.174942,274.901215)
/* IR spectrometer, grating (degree K) */
INSTRUMENT_TEMPERATURE = (130.267487,128.822571)
/* Instrument status: IR */
BIAS_STATE_ID = "LOW"
SCAN_MODE_ID = "BOTH"
SHUTTER_STATE_FLAG = "ENABLED"
INTEGRATION_DELAY_FLAG = "DISABLED"
BACKGROUND_SAMPLING_FREQUENCY = 1
FAST_HK_ITEM_NAME = ("IR_DETECTOR_TEMP_HIGH_RES_1",
                     "IR_GRATING_TEMP",
                     "IR_PRIMARY_OPTICS_TEMP",
                     "IR_SPECTROMETER_BODY_TEMP_1")
FAST_HK_PICKUP_RATE = 2
/* Instrument status: Visible */
ANTIBLOOMING_STATE_FLAG = "OFF"
/* Data processing data */
FLIGHT_SOFTWARE_VERSION_ID = "8.1"
SOFTWARE_VERSION_ID = "VIMS 10.0 03-02-2004"
MISSING_PIXELS = 0
MISSING_PACKET_FLAG = "NO"
DESCRIPTION = "N/A"
PRODUCT_ID = "1_1467520752.13981"
PRODUCT_CREATION_TIME = "2004-185T21:30:30.000Z"
PRODUCT_VERSION_TYPE = "FINAL"
/* Spectral axis description */
GROUP = BAND_BIN
BAND_BIN_CENTER = (0.35054,0.35895,0.36629,0.37322,0.37949,0.38790,0.39518,
                   0.40252,0.40955,0.41731,0.42436,0.43184,0.43919,0.44652,0.45372,0.46163,
                   0.46841,0.47622,0.48629,0.48967,0.49777,0.50628,0.51222,0.51963,0.52766,
                   0.53416,0.54156,0.54954,0.55614,0.56353,0.57131,0.57810,0.58548,0.59312,
                   0.59938,0.60757,0.61505,0.62207,0.62940,0.63704,0.64408,0.65142,0.65910,
                   0.66609,0.67342,0.68102,0.68803,0.69535,0.70288,0.71000,0.71733,0.72484,
                   0.73198,0.73930,0.74676,0.75396,0.76128,0.76874,0.77595,0.78328,0.79072,
                   0.79793,0.80522,0.81262,0.81989,0.82721,0.83463,0.84190,0.84922,0.85663,
                   0.86391,0.87122,0.87863,0.88589,0.89386,0.90032,0.90787,0.91518,0.92254,
                   0.92983,0.93713,0.94445,0.95177,0.95907,0.96638,0.97382,0.98100,0.98883,
                   0.99588,1.00295,1.01005,1.01695,1.02471,1.03195,1.03865,1.04598,0.88421,
                   0.90075,0.91692,0.93308,0.94980,0.96568,0.98226,0.99882,1.01479,1.03132,
                   1.04755,1.06541,1.08183,1.09806,1.11396,1.13024,1.14695,1.16370,1.17996,
                   1.19622,1.21246,1.22859,1.24492,1.26166,1.27813,1.29482,1.31091,1.32695,
                   1.34324,1.35952,1.37695,1.39326,1.40940,1.42557,1.44184,1.45841,1.47514,
                   1.49169,1.50794,1.52421,1.54035,1.55674,1.57361,1.59018,1.60228,1.62523,
                   1.64160,1.65567,1.67238,1.68901,1.70536,1.72175,1.73802,1.75436,1.77105,
                   1.78771,1.80401,1.82004,1.83616,1.85288,1.86933,1.88679,1.90261,1.91916,
                   1.93545,1.95191,1.96871,1.98531,2.00167,2.01781,2.03424,2.05091,2.06757,
                   2.08400,2.10034,2.11667,2.13337,2.15018,2.16652,2.18288,2.19920,2.21591,
                   2.23282,2.24952,2.26622,2.28238,2.29921,2.31612,2.33325,2.35043,2.36765,

```

```

2.38472,2.40156,2.41820,2.43471,2.45097,2.46723,2.48360,2.50002,2.51659,
2.53292,2.54916,2.56437,2.58176,2.59807,2.61508,2.63000,2.64650,2.66146,
2.68085,2.69620,2.71205,2.73270,2.74770,2.76305,2.78118,2.79889,2.81606,
2.83247,2.84954,2.86609,2.88242,2.89878,2.91540,2.93143,2.94726,2.96327,
2.97720,3.00072,3.01382,3.02970,3.04806,3.06446,3.08036,3.09689,3.11213,
3.12962,3.14667,3.16304,3.17974,3.19708,3.21364,3.23150,3.24806,3.26561,
3.28298,3.29946,3.31619,3.33338,3.34981,3.36564,3.38183,3.39872,3.41546,
3.43178,3.44874,3.46475,3.48137,3.49795,3.51284,3.53015,3.54664,3.56274,
3.58034,3.59610,3.61387,3.63085,3.64853,3.66522,3.68283,3.69953,3.71743,
3.73439,3.75103,3.76763,3.78444,3.80083,3.81742,3.83472,3.85141,3.86184,
3.88167,3.89859,3.91478,3.93069,3.94762,3.96375,3.98015,3.99672,4.01280,
4.02944,4.04730,4.06295,4.08086,4.09743,4.11450,4.13183,4.14883,4.16644,
4.18299,4.19839,4.21120,4.22402,4.24220,4.26028,4.27840,4.29650,4.31470,
4.33280,4.35094,4.36646,4.38295,4.39793,4.41537,4.43172,4.44772,4.46573,
4.48240,4.499511,4.51591,4.53379,4.55187,4.56797,4.58556,4.60290,4.62010,
4.63615,4.65416,4.67034,4.68721,4.70290,4.719561,4.73706,4.75351,4.77031,
4.78673,4.80349,4.81952,4.83577,4.85292,4.869401,4.88553,4.90265,4.91983,
4.93685,4.95389,4.97178,4.98896,5.00576,5.02240,5.040781,5.05734,5.07402,
5.09106,5.10680,5.108000)
BAND_BIN_UNIT = MICROMETER
BAND_BIN_ORIGINAL_BAND = (1,0,0,0,5,0,0,0,9,0,0,0,13,0,0,0,0,0,
0,0,21,0,0,0,0,0,0,0,29,0,0,0,0,0,35,36,37,38,39,40,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,52,53,54,55,56,0,0,0,0,0,0,0,0,66,
67,68,69,0,0,72,73,74,75,76,77,0,0,0,81,82,83,84,0,0,0,0,0,90,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,107,108,109,110,
111,112,113,114,0,0,0,0,0,0,121,122,123,124,125,126,127,0,
0,0,0,0,133,134,135,136,137,138,139,140,141,142,143,144,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,158,159,160,161,162,163,164,
165,166,167,168,169,170,171,172,173,174,175,176,177,178,179,180,181,182,
183,0,0,0,0,0,189,190,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,209,210,211,212,213,214,215,216,217,218,
219,220,221,222,223,224,225,226,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,287,288,289,290,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,334,335,336,337,338,339,340,341,342,343,344,
345,346,347,348,349,350,351,352)
END_GROUP = BAND_BIN
END_OBJECT = QUBE

```

A.2 Il file PDS di VIRTIS-M-VIS

Di seguito viene riportato a titolo di esempio l'header di un file PDS contenente i dati raw del canale VIS di Rosetta-VIRTIS-M.

```

PDS_VERSION_ID = PDS3
RECORD_TYPE = FIXED_LENGTH
RECORD_BYTES = 512

```

```
FILE_RECORDS = 8717
LABEL_RECORDS = 9
FILE_STATE = CLEAN
^QUBE = 10
DATA_SET_ID = "ROSETTA-CAL-VIRTIS-2-GRD_CAL-V1.0"
SPACECRAFT_NAME = ROSETTA_ORBITER
MISSION_PHASE_NAME = VIRTIS_FLIGHT
INSTRUMENT_NAME = "VISIBLE AND INFRARED THERMAL IMAGING SPECTROMETER"
INSTRUMENT_ID = VIRTIS
^INSTRUMENT_DESCRIPTION = "VIR_DESC.TXT"
CHANNEL_ID = "VIRTIS_M_VIS"
EGSE_ID = "VIRTIS_EGSE3"
SOFTWARE_VERSION_ID = {"EGSESOFT6.5.1","PDS_CONVERTER_4.1"}
TARGET_TYPE = "FLIGHT_FACILITY"
TARGET_NAME = "NULL"
START_TIME = 2004-09-24T08:01:49.127Z
STOP_TIME = 2004-09-24T08:21:42.477Z
SPACECRAFT_CLOCK_START_COUNT = 54633692.10146
SPACECRAFT_CLOCK_STOP_COUNT = 54634885.40590
DATA_QUALITY_ID = "NULL"
PRODUCER_INSTITUTION_NAME = "IAS"
PRODUCT_CREATION_TIME = 2004-09-27T14:28:48.000Z
INSTRUMENT_MODE_ID = 19
ENCODING_TYPE = 1
GROUP = ROSETTA_PARAMETERS
EGSE_ID = "VIRTIS_EGSE3"
SCAN_MODE_ID = 1
SCAN_START_ANGLE = 65533
SCAN_STOP_ANGLE = 1
SCAN_STEP_ANGLE = 0
SCAN_STEP_NUMBER = 1
VIS_EXPOSURE_DURATION = 1.00 <s>
FRAME_SUMMING = 1
EXTERNAL_REPETITION_TIME = 60 <s>
DARK_ACQUISITION_RATE = 20
VIS_START_X_POSITION = 5
VIS_START_Y_POSITION = 0
MAXIMUM_FOCAL_PLANE_TEMPERATURE = 87.10 <K>
MAXIMUM_TELESCOPE_TEMPERATURE = 137.42 <K>
MAXIMUM_SPECTROMETER_TEMPERATURE = 137.50 <K>
MAXIMUM_CRYOCOOLER_TEMPERATURE = 79.74 <K>
PHOTOMETRIC_CORRECTION_TYPE = NONE
ENVIRONMENT_DATA_FILE_NAME = "NULL"
OPERATIONAL_LOG_FILE_NAME = "NULL"
SESSION_INDEX_FILE_NAME = "NULL"
H_SPECTRUM_FILE_NAME = "NULL"
H_SPECTRA_SLICE_FILE_NAME = "NULL"
H_IMAGE_SLICE_FILE_NAME = "NULL"
M_IR_DATA_FILE_NAME = "NULL"
NOTE = "NULL"
NOTE = "NULL"
```

```

NOTE = "NULL"
END_GROUP = ROSETTA_PARAMETERS
OBJECT = QUBE
  AXES = 3
  AXIS_NAME = (BAND, SAMPLE, LINE)
  CORE_ITEMS = ( 432, 256, 20)
  CORE_ITEM_BYTES = 2
  CORE_ITEM_TYPE = MSB_SIGNED_INTEGER
  CORE_BASE = 0.0
  CORE_MULTIPLIER = 1.0
  CORE_VALID_MINIMUM = "NULL"
  CORE_NULL = "NULL"
  CORE_LOW_REPR_SATURATION = -32768
  CORE_LOW_INSTR_SATURATION = -32768
  CORE_HIGH_REPR_SATURATION = 32767
  CORE_HIGH_INSTR_SATURATION = 32767
  CORE_NAME = RAW_DATA_NUMBER
  CORE_UNIT = DIMENSIONLESS
  CORE_UNIT_NOTE = "NULL"
  SUFFIX_BYTES = 2
  SUFFIX_ITEMS = ( 0, 2, 0)
  SAMPLE_SUFFIX_NAME = "HOUSEKEEPING PARAMETERS"
  SAMPLE_SUFFIX_UNIT = DIMENSIONLESS
  SAMPLE_SUFFIX_ITEM_BYTES = 2
  SAMPLE_SUFFIX_ITEM_TYPE = MSB_UNSIGNED_INTEGER
  SAMPLE_SUFFIX_BASE = 0.0
  SAMPLE_SUFFIX_MULTIPLIER = 1.0
  SAMPLE_SUFFIX_VALID_MINIMUM = "NULL"
  SAMPLE_SUFFIX_NULL = 65535
  SAMPLE_SUFFIX_LOW_REPR_SAT = 0
  SAMPLE_SUFFIX_LOW_INSTR_SAT = 0
  SAMPLE_SUFFIX_HIGH_REPR_SAT = 65535
  SAMPLE_SUFFIX_HIGH_INSTR_SAT = 65535
  SAMPLE_SUFFIX_NOTE = "NULL"
  ^HOUSEKEEPING_DESCRIPTION = "HK_LIST.TXT"
GROUP = BAND_BIN
  BAND_BIN_CENTER = "NULL"
  BAND_BIN_UNIT = micrometer
  BAND_BIN_ORIGINAL_BAND = "NULL"
END_GROUP = BAND_BIN
END_OBJECT = QUBE
END

```

A.3 Il file PDS di VIRTIS-M-IR

Di seguito viene riportato a titolo di esempio l'header di un file PDS contenente i dati raw del canale IR di Rosetta-VIRTIS-M.

```

PDS_VERSION_ID = PDS3
RECORD_TYPE = FIXED_LENGTH

```

```
RECORD_BYTES = 512
FILE_RECORDS = 8717
LABEL_RECORDS = 9
FILE_STATE = CLEAN
^QUBE = 10
DATA_SET_ID = "ROSETTA-CAL-VIRTIS-2-GRD_CAL-V1.0"
SPACECRAFT_NAME = ROSETTA_ORBITER
MISSION_PHASE_NAME = VIRTIS_FLIGHT
INSTRUMENT_NAME = "VISIBLE AND INFRARED THERMAL IMAGING SPECTROMETER"
INSTRUMENT_ID = VIRTIS
^INSTRUMENT_DESCRIPTION = "VIR_DESC.TXT"
CHANNEL_ID = "VIRTIS_M_IR"
SOFTWARE_VERSION_ID = {"EGSESOFT6.5.1","PDS_CONVERTER_4.1"}
TARGET_TYPE = "FLIGHT_FACILITY"
TARGET_NAME = "NULL"
START_TIME = 2004-09-24T08:01:09.363Z
STOP_TIME = 2004-09-24T08:21:02.468Z
SPACECRAFT_CLOCK_START_COUNT = 54633652.09552
SPACECRAFT_CLOCK_STOP_COUNT = 54634845.39994
DATA_QUALITY_ID = "NULL"
PRODUCER_INSTITUTION_NAME = "IAS"
PRODUCT_CREATION_TIME = 2004-09-27T14:28:51.000Z
INSTRUMENT_MODE_ID = 19
ENCODING_TYPE = 1
GROUP = ROSETTA_PARAMETERS
EGSE_ID = "VIRTIS_EGSE3"
SCAN_MODE_ID = 1
SCAN_START_ANGLE = 65533
SCAN_STOP_ANGLE = 1
SCAN_STEP_ANGLE = 0
SCAN_STEP_NUMBER = 1
IR_EXPOSURE_DURATION = 0.50 <s>
FRAME_SUMMING = 1
EXTERNAL_REPETITION_TIME = 60 <s>
DARK_ACQUISITION_RATE = 20
IR_START_X_POSITION = 1
IR_START_Y_POSITION = 7
MAXIMUM_FOCAL_PLANE_TEMPERATURE = 87.10 <K>
MAXIMUM_TELESCOPE_TEMPERATURE = 137.42 <K>
MAXIMUM_SPECTROMETER_TEMPERATURE = 137.50 <K>
MAXIMUM_CRYOCOOLER_TEMPERATURE = 79.74 <K>
PHOTOMETRIC_CORRECTION_TYPE = NONE
ENVIROMENT_DATA_FILE_NAME = "N/A"
OPERATIONAL_LOG_FILE_NAME = "N/A"
SESSION_INDEX_FILE_NAME = "N/A"
H_SPECTRUM_FILE_NAME = "NULL"
H_SPECTRA_SLICE_FILE_NAME = "NULL"
H_IMAGE_SLICE_FILE_NAME = "NULL"
M_VIS_DATA_FILE_NAME = "NULL"
NOTE = "NULL"
NOTE = "NULL"
```



```

NOTE = "NULL"
END_GROUP = ROSETTA_PARAMETERS
OBJECT = QUBE
  AXES = 3
  AXIS_NAME = (BAND, SAMPLE, LINE)
  CORE_ITEMS = ( 432, 256, 20)
  CORE_ITEM_BYTES = 2
  CORE_ITEM_TYPE = MSB_SIGNED_INTEGER
  CORE_BASE = 0.0
  CORE_MULTIPLIER = 1.0
  CORE_VALID_MINIMUM = "NULL"
  CORE_NULL = "NULL"
  CORE_LOW_REPR_SATURATION = -32768
  CORE_LOW_INSTR_SATURATION = -32768
  CORE_HIGH_REPR_SATURATION = 32767
  CORE_HIGH_INSTR_SATURATION = 32767
  CORE_NAME = RAW_DATA_NUMBER
  CORE_UNIT = DIMENSIONLESS
  CORE_UNIT_NOTE = "NULL"
  SUFFIX_BYTES = 2
  SUFFIX_ITEMS = ( 0, 2, 0)
  SAMPLE_SUFFIX_NAME = "HOUSEKEEPING PARAMETERS"
  SAMPLE_SUFFIX_UNIT = DIMENSIONLESS
  SAMPLE_SUFFIX_ITEM_BYTES = 2
  SAMPLE_SUFFIX_ITEM_TYPE = MSB_UNSIGNED_INTEGER
  SAMPLE_SUFFIX_BASE = 0.0
  SAMPLE_SUFFIX_MULTIPLIER = 1.0
  SAMPLE_SUFFIX_VALID_MINIMUM = "NULL"
  SAMPLE_SUFFIX_NULL = 65535
  SAMPLE_SUFFIX_LOW_REPR_SAT = 0
  SAMPLE_SUFFIX_LOW_INSTR_SAT = 0
  SAMPLE_SUFFIX_HIGH_REPR_SAT = 65535
  SAMPLE_SUFFIX_HIGH_INSTR_SAT = 65535
  SAMPLE_SUFFIX_NOTE = "NULL"
  ^HOUSEKEEPING_DESCRIPTION = "HK_LIST.TXT"
GROUP = BAND_BIN
  BAND_BIN_CENTER = "NULL"
  BAND_BIN_UNIT = micrometer
  BAND_BIN_ORIGINAL_BAND = "NULL"
  END_GROUP = BAND_BIN
END_OBJECT = QUBE
END

```

A.4 Il trend file (.hkt) di VIRTIS-M

Vengono di seguito elencati gli 81 parametri di housekeeping salvati nel sideplane del cubo PDS di VIRTIS-M: tali parametri ingegneristici sono acquisiti sia in maniera sincrona (contemporaneamente all'acquisizione del frame) che asincrona (nel tempo di readout e processamento tra due frames consecutivi). L'istante di acquisizione del singolo parametro é

individuato dallo SCET time codificato mediante le prime tre word. Nel sideplane sono salvati tutti i parametri sincroni ed asincroni ordinati dall'istante di inizio acquisizione fino a quello in cui viene completata. Questi dati sono di fondamentale importanza per monitorare l'attività e lo stato dello strumento durante le acquisizioni; ad esempio se si utilizza un repetition time di 20 s un cubo completo di 256 lines richiede un tempo di acquisizione circa 85 minuti durante i quali possono intervenire significative variazioni dello stato dello strumento con conseguenti ripercussioni sulla qualità del dato misurato.

1. SCET data, 1 st word: prima word contenente lo SPACECRAFT_CLOCK_COUNT. Sono necessarie tre word in quanto lo SCET é in formato floating.
2. SCET data, 2 nd word: seconda word contenente lo SPACECRAFT_CLOCK_COUNT
3. SCET data, 3 rd word: terza word contenente lo SPACECRAFT_CLOCK_COUNT
4. Acquisition ID
5. Number of sub-slices + first serial number
6. Data Type
7. FAKE, SPARE SPACE
8. SCET periodic HK, 1 st word
9. SCET periodic HK, 2 nd word
10. SCET periodic HK, 3 rd word
11. V_MODE
12. ME_PWR_STAT
13. ME_PS_TEMP
14. ME_DPU_TEMP
15. ME_DHSU_VOLT
16. ME_DHSU_CURR
17. EEPROM_VOLT
18. IF_ELECTR_VOLT
19. FAKE, SPARE SPACE
20. SCET periodic HK, 1 st word
21. SCET periodic HK, 2 nd word
22. SCET periodic HK, 3 rd word
23. M_ECA_STAT
24. M_COOL_STAT
25. M_COOL_TIP_TEMP
26. M_COOL_MOT_VOLT
27. M_COOL_MOT_CURR
28. M_CCE_SEC_VOLT

- 29. FAKE, SPARE SPACE
- 30. SCET HK, 1st word
- 31. SCET HK, 2nd word
- 32. SCET HK, 3rd word
- 33. M_CCD_VDR_HK
- 34. M_CCD_VDD_HK
- 35. M_+5V_VOLT
- 36. M_+12V_VOLT
- 37. M_-12V_VOLT
- 38. M_+20V_VOLT
- 39. M_+21V_VOLT
- 40. M_CCD_LAMP_VOLT
- 41. M_CCD_TEMP_OFFSET
- 42. M_CCD_TEMP
- 43. M_CCD_TEMP_RES
- 44. RADIATOR_TEMP
- 45. LEDGE_TEMP
- 46. OM_BASE_TEMP
- 47. H_COOLER_TEMP
- 48. M_COOLER_TEMP
- 49. M_CCD_WIN_X1
- 50. M_CCD_WIN_Y1
- 51. M_CCD_WIN_X2
- 52. M_CCD_WIN_Y2
- 53. M_CCD_DELAY
- 54. M_CCD_EXPO
- 55. M_MIRROR_SIN_HK
- 56. M_MIRROR_COS_HK
- 57. M_VIS_FLAG_ST
- 58. FAKE, SPARE SPACE
- 59. SCET HK, 1st word
- 60. SCET HK, 2nd word
- 61. SCET HK, 3rd word
- 62. M_IR_VDETCOM_HK
- 63. M_IR_VDETADY_HK

- 64. M_IR.VPOS
- 65. M_IR.VPD
- 66. M_IR.TEMP_OFFSET
- 67. M_IR.TEMP
- 68. M_IR.TEMP_RES
- 69. M_SHUTTER_TEMP
- 70. M_GRATING_TEMP
- 71. M_SPECT_TEMP
- 72. M_TELE_TEMP
- 73. M_SU_MOTOR_TEMP
- 74. M_IR_LAMP_VOLT
- 75. M_SU_MOTOR_CURR
- 76. M_IR.WIN_Y1
- 77. M_IR.WIN_Y2
- 78. M_IR.DELAY
- 79. M_IR.EXPO
- 80. M_IR.LAMP_SHUTTER
- 81. M_IR.FLAG_ST

Modello radiometrico VIRTIS

Questa appendice contiene il modello teorico radiometrico utilizzato per la valutazione del rapporto segnale/rumore di VIRTIS. La versione originale del modello ¹, era implementata in una procedura FORTRAN e mancava della parte di visualizzazione dei risultati; l'autore ha provveduto alla riscrittura del codice in linguaggio IDL, aggiornando diversi parametri strumentali, aggiungendo una interfaccia grafica per l'immissione dei parametri della simulazione e per la visualizzazione dei risultati finali. Il modello é stato utilizzato per la pianificazione delle osservazioni di VIRTIS-M su Rosetta e VenusExpress e di VIR-MS su Dawn; il segnale ed il rapporto segnale/rumore vengono calcolati sulla base della riflettanza spettrale (vera o presunta) del target, della distanza del target dal Sole, delle temperature del piano focale e del telescopio e del tempo di esposizione.

B.1 Radianza del target osservato

L'espressione della radianza spettrale del target $S(\lambda, T_t)(Wm^{-2}nm^{-1}sterad^{-1})$ é data da:

$$S(\lambda, T_t) = (1 - \rho_t(\lambda))BB(\lambda, T_t) + \frac{\rho_t(\lambda)E_S(\lambda)}{\pi D_S^2} \quad (B.1)$$

dove T_t é la temperatura del target in K, $\rho_t(\lambda)$ é la riflettanza del target, $E_S(\lambda)$ é la radianza solare misurata ad 1 AU, D_S é la distanza Sole-target in AU. L'emissione di corpo nero é definita dalla legge di Planck ($Wm^{-3}sterad^{-1}$):

$$BB(\lambda, T_t) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda k t}} - 1 \right)} \quad (B.2)$$

¹Sylvie Espinasse, Tecnostudi Ambiente, srl, maggio 2000.

dove $h = 6,6256 \cdot 10^{-34}$ Js é la costante di Planck, $k = 1,38054 \cdot 10^{-23}$ J/K é la costante di Boltzmann, $c = 2,97 \cdot 10^8$ m/s é la velocità della luce nel vuoto e T é la temperatura di corpo nero in K.

B.2 Stima del segnale

Supponendo di osservare un target esteso, tale cioè da coprire per intero un pixel spaziale (sample, line), ed avente una radianza spettrale data dalla B.1, il segnale misurato da VIRTIS-M sarà dato da:

$$N_S(\lambda, T_t, t_i, k_y) = \eta(\lambda) k_y t_i \theta^2 S(\lambda, T) \frac{\lambda}{hc} \delta\lambda \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{B.3})$$

dove $\eta(\lambda)$ é l'efficienza quantica totale, k_y il parametro di binning spaziale, D é il diametro della pupilla del telescopio (in m), θ il FOV, $\delta\lambda$ il passo di campionamento spettrale e t_i il tempo di esposizione (in s).

L'efficienza quantica totale é funzione dei seguenti parametri:

$$\eta(\lambda) = \tau(\lambda) \eta_D(\lambda) FP k_s \quad (\text{B.4})$$

dove $\tau(\lambda)$ é la trasmittanza delle ottiche, $\eta_D(\lambda)$ l'efficienza del detector, FP la frazione illuminata della pupilla, k_s la larghezza della fenditura espressa in pixels.

La trasmittanza delle ottiche é espressa mediante la seguente relazione:

$$\tau(\lambda) = \rho_{Al}(\lambda)^n \eta_{gr}(\lambda) PM_{DF}(\lambda) \quad (\text{B.5})$$

dove $\rho_{Al}(\lambda)$ é la riflettanza dell'alluminatura degli specchi, n é il numero di riflessioni subite dal fascio ottico sugli specchi (n=8 per il canale IR, n=9 per il canale VIS), $\eta_{gr}(\lambda)$ é l'efficienza del grating, $PM_{DF}(\lambda)$ é il fattore di degradazione dello specchio primario del telescopio (M1). L'efficienza del detector $\eta_D(\lambda)$ usata nella B.4 é data dall'espressione:

$$\eta_D(\lambda) = QE(\lambda) FF \eta_i(\lambda) \tau_{win}(\lambda) \tau_f(\lambda) \quad (\text{B.6})$$

dove $QE(\lambda)$ é l'efficienza quantica del detector (IRFPA e CCD), $\eta_i(\lambda)$ é l'efficienza di iniezione, FF il campo di vista del detector, $\tau_{win}(\lambda)$ la trasmittanza della finestra e $\tau_f(\lambda)$ la trasmittanza dei filtri d'ordine depositati sulla finestra dei piani focali.

B.3 Stima del rumore

Il calcolo del rumore complessivo viene realizzato tenendo conto del rumore di read-out, della dark current, dell'F-noise e del rumore termico ambientale. Ciascuno di questi viene descritto nei paragrafi seguenti assieme con i parametri utilizzati per la determinazione del contributo.

B.3.1 Read-out

Il rumore di read-out é dovuto all'indeterminazione sulla misura del numero di fotoelettroni accumulati sul pixel ed é valutato mediante l'espressione seguente (in fotoelettroni):

$$R_{OUT} = 0,2\sqrt{N_{sat}} \quad (B.7)$$

dove N_{sat} é il livello di saturazione del pixel, pari a $2 \cdot 10^6$ fotoelettroni per l'IRFPA e $3 \cdot 10^5$ fotoelettroni per la CCD.

B.3.2 Dark Current

La dark current é dovuta all'agitazione termica del reticolo fononico che si trova a temperatura T_{det} . Per l'IRFPA é valutata mediante l'espressione seguente (in fotoelettroni):

$$R_{DC} = \frac{i_{D70}}{e} \left(\frac{T_{det}}{70} \right)^\alpha k_y t_i \quad (B.8)$$

dove i_{D70} é il livello della dark current a $T=70$ K, α é un coefficiente termico fornito dal costruttore (Raytheon) ed $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C é la carica elementare dell'elettrone.

B.3.3 F-noise

L'F-noise é dovuto alle fluttuazioni statistiche della dark current ed é espresso in fotoelettroni mediante la relazione seguente:

$$F_{noise}(T_{det}, t_{cal}, t_i) = \frac{\alpha}{e} \left(i_{D70} \left(\frac{T_{det}}{70} \right)^{\alpha_{80}} + \frac{e}{t_i} N_S(\lambda, T_t, t_i) + \frac{e}{t_i} R_b(\lambda, t_i) \right)^\beta \sqrt{\ln \frac{t_{cal}}{2t_i} t_i} \quad (B.9)$$

dove t_{cal} é l'intervallo di tempo tra due calibrazioni successive² (in s), α e β sono parametri forniti dal costruttore del detector.

B.3.4 Rumore termico ambientale

La stima del rumore termico ambientale é di particolare importanza nel canale IR di VIRTIS-M in quanto può notevolmente deteriorare il rapporto segnale rumore nel caso in cui si utilizzi lo strumento al di sopra delle temperature di esercizio nominale con lunghi tempi di esposizione. Questo rumore é dovuto all'emissione termica di tutte le componenti interne dello strumento che viene a ricadere sul campo di vista del piano focale. Nel calcolo dell'effetto complessivo sarà quindi necessario specificare sia le temperature e le emissività delle diverse componenti interne sia l'angolo solido con cui vengono viste dal piano focale.

Contributo del telescopio e di M1

$$N_{Tel-M1}(T_{Tel-M1}, \lambda) = t_i L p x^2 \Omega_0 \epsilon_0(\lambda) \frac{\eta(\lambda)}{\rho_{QNT}^8(\lambda) \rho_{gr}(\lambda)} \frac{\lambda}{hc} B(\lambda, T_{Tel-M1}) \delta \lambda \quad (B.10)$$

²Se si può imporre che $t_{cal} = 2t_i$ é possibile annullare il contributo dell'F-noise al rumore totale.

dove Ω_0 é il FOV del telescopio dato da $\Omega_0 = \pi/(4f\#)$ con $f\# = Lpx/(\theta D)$, $\epsilon_0(\lambda)$ é l'emissività data da:

$$\epsilon_0(\lambda) = \epsilon_{QNT}(\lambda)\rho_{QNT}^2(\lambda)\rho_{gr}(\lambda)\frac{1 - \rho_{QNT}^5(\lambda)}{1 - \rho_{QNT}(\lambda)} + \epsilon_{M1}\rho_{QNT}^7(\lambda)\rho_g(\lambda) \quad (B.11)$$

dove ϵ_{M1} é l'emissività di M1, $\epsilon_{QNT}(\lambda) = 1 - \rho_{QNT}(\lambda)$, T_{Tel-M1} é la temperatura del telescopio e di M1 (in K) e Lpx é il lato del pixel ($3,8 \cdot 10^{-5}$ m).

Contributo dello spettrometro Il contributo termico delle pareti dello spettrometro dipende dal range spettrale e quindi dalle proprietà dei filtri utilizzati sul piano focale per ridurne gli effetti. La posizione geometrica dei filtri sull'IRFPA e le loro proprietà spettrali sono elencati nella Tabella B.1. La temperatura delle pareti dello spettrometro (in K) é T_{spe} .

Regione	A	B/C	D	E	F
Posizione (mm)	0 - 2	2 - 6	6 - 11	11 - 13.5	13.5 - 16.5
$\lambda_r(\mu m)$	$\lambda_{r1} = 1,45$	$\lambda_{r2} = 2,45$	$\lambda_{r3} = 3,7$	$\lambda_{r4} = 4,325$	
$\lambda_{out0}(\mu m)$	$\geq 0,75$	$\geq 0,95$	$\geq 1,2$	$\geq 1,8$	$\geq 2,1; \geq 3,8$
$\lambda_{out1}(\mu m)$	$\geq 0,85$	$\leq 1,25$	$\geq 1,9$	$\geq 2,2$	$\geq 2,6; \geq 4,2$
$\lambda_{in1}(\mu m)$	$\leq 0,9$	$\leq 1,35$	$\leq 2,4$	$\leq 3,6$	$\leq 4,3$
$\lambda_{in2}(\mu m)$	$\geq 1,6$	$\geq 2,55$	$\geq 3,75$	$\geq 4,4$	≥ 5
$\lambda_{out2}(\mu m)$	$\leq 3,8$	$\leq 3,8$	$\leq 3,9$	$\leq 4,6$	$\leq 5,1$

Tabella B.1: Proprietà dei filtri del piano focale IR di VIRTIS-M.

$0,95 < \lambda < \lambda_{r3}$:

$$N_{Spe}(T_{Spe}, \lambda) = \left(t_i Lpx^2 \sum_{i=3}^6 \Omega_i \epsilon_i \right) \left(\int_{\lambda_{in1D}}^{\lambda_{out2D}} \eta_d(\lambda) B(\lambda, T_{spe}) \frac{\lambda}{hc} d\lambda + 0,01 \int_{\lambda_{out2D}}^{5,1 \mu m} \eta_d(\lambda) B(\lambda, T_{spe}) \frac{\lambda}{hc} d\lambda \right) \quad (B.12)$$

$\lambda_{r3} < \lambda < \lambda_{r4}$:

$$N_{Spe}(T_{Spe}, \lambda) = \left(t_i Lpx^2 \sum_{i=3}^6 \Omega_i \epsilon_i \right) \left(\int_{\lambda_{in1E}}^{\lambda_{out2E}} \eta_d(\lambda) B(\lambda, T_{spe}) \frac{\lambda}{hc} d\lambda + 0,01 \int_{\lambda_{out2E}}^{5,1 \mu m} \eta_d(\lambda) B(\lambda, T_{spe}) \frac{\lambda}{hc} d\lambda \right) \quad (B.13)$$

$\lambda_{r4} < \lambda$:

$$N_{Spe}(T_{Spe}, \lambda) = \left(t_i Lpx^2 \sum_{i=3}^6 \Omega_i \epsilon_i \right) \int_{\lambda_{in1F}}^{\lambda_{out2F}} \eta_d(\lambda) B(\lambda, T_{spe}) \frac{\lambda}{hc} d\lambda \quad (B.14)$$

I precedenti contributi vanno specificati in funzione delle emissività delle diverse componenti e del loro riempimento del FOV sull'IRFPA ($\Omega_{tot} = 2,2$). In Tabella B.2 sono riportati i valori di Ω ed ϵ per i diversi componenti.

Componente	Ω	ϵ
Pareti dello spettrometro	$\Omega_3 = 2,1233$	$\epsilon_3 = 1$
Specchio di ripiegamento M7	$\Omega_4 = \Omega_0$	$\epsilon_4(\lambda) = \epsilon_{QNT}(\lambda)(1 + \rho_{QNT}(\lambda)^2)$
Grating	$\Omega_5 = \Omega_0$	$\epsilon_5(\lambda) = \rho_{gr}(\lambda)(1 - \rho_{gr}(\lambda))$
Pareti della fenditura	$\Omega_6 = \Omega_0$	$\epsilon_6(\lambda) = \rho_{QNT}(\lambda)^3$

Tabella B.2: Angoli solidi ed emissività delle parti interne di VIRTIS-M per il calcolo del rumore termico.

Il background termico complessivo (in fotoelettroni) é dato dai termini B.10, B.12, B.13 e B.14:

$$R_b(\lambda, t_i) = N_{Tel-M1}(T_{Tel-M1}, \lambda) + N_{Spe}(T_{Spe}, \lambda) \quad (B.15)$$

B.3.5 Rumore totale

Una volta valutati i singoli termini di rumore mediante le precedenti relazioni é possibile calcolare il rumore totale:

$$R_{tot}(\lambda, T_t, t_i) = \sqrt{N_S(\lambda, T_t, t_i) + R_b(\lambda, t_i) + R_{DC}(T_{det}, t_i) + F_{noise}(T_{det}, t_{cal}, t_i)^2 + R_{out}^2} \quad (B.16)$$

in cui $N_S(\lambda, T_t, t_i)$ é il segnale (B.3), $R_b(\lambda, t_i)$ é il background termico ambientale (B.15), $R_{DC}(T_{det}, t_i)$ é la dark current (B.8), $F_{noise}(T_{det}, t_{cal}, t_i)$ é l'F-noise (B.9) ed R_{out} é il read-out noise (B.7).

B.4 Stima del rapporto segnale/rumore

Il rapporto segnale/rumore derivante dal modello é espresso come:

$$SNR(\lambda, T_t, t_i) = \frac{N_S(\lambda, T_t, t_i)}{R_{tot}(\lambda, T_t, t_i)} \quad (B.17)$$

In generale nei detector a risposta lineare (come le CCD e l'IRFPA di VIRTIS-M) il segnale segue una relazione lineare con il tempo di esposizione t_i ovvero con il numero N di fotoni incidenti per unità di tempo. Poiché la statistica del flusso fotonico é poissoniana, il cui scarto quadratico medio é dato dalla radice quadrata del numero dei fotoni incidenti, il rumore associato al segnale raccolto é $\propto \sqrt{N}$ ovvero $\propto \sqrt{t_i}$. Ne segue che mentre il segnale aumenta linearmente con t_i , il rapporto segnale/rumore aumenta secondo $\sqrt{t_i}$.

C

Tabelle VIMS

In questa Appendice sono raccolte alcune Tabelle relative ai capitoli 1 e 2.

λ (nm)	η_{tot}	η_{285}	η_{420}	λ (nm)	η_{tot}	η_{285}	η_{420}
300	31,57	28,0	39,0	312	33,65	33,0	35,0
325	34,58	38,0	27,5	337	32,68	40,0	17,5
350	28,09	38,0	7,5	375	21,94	32,5	0,0
400	17,14	22,5	6,0	425	15,32	15,0	16,0
450	14,61	6,0	32,5	475	13,87	2,5	37,5
500	13,34	0,5	40,0	512	12,67	0,0	39,0
525	12,69	0,5	38,0	550	12,25	2,5	32,5
575	12,31	5,0	27,5	600	11,90	8,0	20,0
625	12,30	11,0	15,0	650	13,72	16,0	9,0
675	15,12	20,0	5,0	700	15,84	22,5	2,0
725	17,87	26,0	1,0	750	19,23	28,5	0,0
775	21,42	31,5	0,5	800	22,76	33,0	1,5
825	24,60	35,0	3,0	850	24,60	37,0	5,0
875	28,08	38,0	7,5	900	29,74	39,0	10,5
925	30,72	39,5	12,5	950	32,04	40,0	15,5
975	32,69	40,0	17,5	1000	34,16	40,5	21,0
1025	34,81	40,5	23,0	1050	35,46	40,5	25,0

Tabella C.1: *Efficienza totale del reticolo di VIMS-V e delle due regioni delle linee separate η_{285} e η_{420} .*

λ (nm)	η_{CCD}	λ (nm)	η_{CCD}
300	0,142	350	0,155
400	0,151	450	0,234
500	0,370	550	0,462
600	0,477	650	0,542
700	0,593	750	0,525
800	0,449	850	0,333
900	0,247	950	0,158
1000	0,064	1050	0,014

Tabella C.2: Efficienza quantica η_{CCD} della CCD (detector, finestra ottica, filtri) di VIMS-V.

Line#	Mirror Offset	Sin	Cos	Corrente (mA)	Line#	Mirror Offset	Sin	Cos	Corrente (mA)
1	93	1670	3739	-13.053	33	-3	539	4059	-3.918
2	90	1636	3754	-12.760	34	-6	502	4064	-3.635
3	87	1606	3769	-12.475	35	-9	466	4068	-3.353
4	84	1568	3783	-12.189	36	-12	429	4072	-3.071
5	81	1534	3797	-11.904	37	-15	393	4076	-2.788
6	78	1500	3810	-11.619	38	-18	356	4080	-2.506
7	75	1466	3824	-11.333	39	-21	319	4083	-2.223
8	72	1431	3837	-11.048	40	-24	282	4085	-1.940
9	69	1397	3849	-10.763	41	-27	246	4088	-1.658
10	66	1362	3862	-10.477	42	-30	209	4090	-1.375
11	63	1327	3874	-10.192	43	-33	172	4091	-1.092
12	60	1292	3886	-9.907	44	-36	135	4093	-0.809
13	57	1257	3897	-9.621	45	-39	98	4094	-0.527
14	54	1222	3908	-9.336	46	-42	61	4095	-0.244
15	51	1187	3919	-9.051	47	-45	25	4095	0.039
16	48	1151	3930	-8.765	48	-48	-12	4095	0.322
17	45	1116	3940	-8.480	49	-51	-49	4095	0.604
18	42	1080	3950	-8.195	50	-54	-86	4094	0.887
19	39	1045	3959	-7.909	51	-57	-123	4093	1.170
20	36	1009	3969	-7.624	52	-60	-160	4092	1.453
21	33	973	3978	-7.339	53	-63	-196	4090	1.735
22	30	938	3988	-7.053	54	-66	-233	4088	2.018
23	27	902	3994	-6.768	55	-69	-270	4086	2.301
24	24	866	4002	-6.483	56	-72	-307	4083	2.584
25	21	830	4010	-6.197	57	-75	-344	4081	2.866
26	18	794	4017	-5.912	58	-78	-380	4077	3.149
27	15	757	4024	-5.627	59	-81	-417	4074	3.432
28	12	721	4031	-5.341	60	-84	-454	4070	3.715
29	9	685	4037	-5.056	61	-87	-490	4066	3.997
30	6	648	4043	-4.771	62	-90	-527	4061	4.280
31	3	612	4049	-4.485	63	-93	-563	4056	4.563
32	0	576	4054	-4.200	64	-96	-600	4051	4.845

Tabella C.3: Tabella di calibrazione dei parametri elettrici del motore di scansione di VIMS-V (seno e coseno dell'angolo elettrico e corrente assorbita) lungo l'asse delle line e del mirror offset.

Banda #	$\lambda(nm)$	$\Delta\lambda(nm)$	Banda #	$\lambda(nm)$	$\Delta\lambda(nm)$	Banda #	$\lambda(nm)$	$\Delta\lambda(nm)$
1	350.54	7.20	2	358.95	7.11	3	366.29	7.37
4	373.22	7.20	5	379.49	7.39	6	387.90	7.38
7	395.18	7.21	8	402.52	7.34	9	409.55	7.32
10	417.31	7.31	11	424.36	7.40	12	431.84	7.29
13	439.19	7.13	14	446.52	7.56	15	453.72	7.06
16	461.63	7.18	17	468.41	7.18	18	476.22	7.29
19	486.29	7.26	20	489.67	7.46	21	497.77	7.29
22	506.28	7.22	23	512.22	7.54	24	519.63	7.34
25	527.66	7.23	26	534.16	7.27	27	541.56	7.35
28	549.54	7.14	29	556.14	7.31	30	563.53	7.49
31	571.31	7.19	32	578.10	7.27	33	585.48	7.49
34	593.12	7.21	35	599.38	6.00	36	607.57	10.00
37	615.05	7.32	38	622.07	7.20	39	629.40	7.47
40	637.04	7.30	41	644.08	7.20	42	651.42	7.40
43	659.10	7.23	44	666.09	7.22	45	673.42	7.45
46	681.02	7.32	47	688.03	7.29	48	695.35	7.44
49	702.88	7.33	50	710.00	7.27	51	717.33	7.43
52	724.84	7.25	53	731.98	7.24	54	739.30	7.45
55	746.76	7.30	56	753.96	7.26	57	761.28	7.42
58	768.74	7.28	59	775.95	7.26	60	783.28	7.42
61	790.72	7.33	62	797.93	7.24	63	805.22	7.38
64	812.62	7.34	65	819.89	7.29	66	827.21	7.39
67	834.63	7.30	68	841.90	7.26	69	849.21	7.32
70	856.63	7.20	71	863.91	7.32	72	871.22	7.30
73	878.63	7.42	74	885.89	7.29	75	893.86	7.31
76	900.32	7.40	77	907.87	7.31	78	915.18	7.30
79	922.54	7.41	80	929.83	7.29	81	937.13	7.29
82	944.45	7.43	83	951.77	7.30	84	959.07	7.27
85	966.38	7.45	86	973.82	7.22	87	981.00	7.27
88	988.83	7.46	89	995.88	7.27	90	1002.95	7.23
91	1010.05	7.09	92	1016.95	7.27	93	1024.71	7.62
94	1031.95	6.95	95	1038.65	6.72	96	1045.98	7.50

Tabella C.4: Calibrazione spettrale di VIMS-V in modalità spettrale nominale.

Fase	359.0 nm	395.6 nm	415.5 nm	457.3 nm	501.2 nm	626.4 nm	729.7 nm	859.5 nm	1063.5 nm
0°	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10°	0.29	0.27	0.29	0.28	0.27	0.27	0.26	0.25	0.24
20°	0.58	0.55	0.57	0.56	0.55	0.53	0.52	0.50	0.48
30°	0.86	0.82	0.86	0.83	0.82	0.80	0.77	0.74	0.72
40°	1.15	1.09	1.15	1.11	1.10	1.06	1.03	0.99	0.96
50°	1.41	1.34	1.41	1.37	1.36	1.32	1.28	1.23	1.20
60°	1.66	1.60	1.67	1.62	1.62	1.58	1.54	1.49	1.44
70°	1.93	1.88	1.95	1.90	1.89	1.86	1.82	1.77	1.70
80°	2.23	2.19	2.26	2.20	2.20	2.17	2.13	2.08	1.99
90°	2.59	2.56	2.61	2.55	2.54	2.52	2.48	2.43	2.33
100°	3.01	2.99	3.02	2.95	2.94	2.93	2.87	2.82	2.72
110°	3.51	3.50	3.50	3.42	3.40	3.41	3.32	3.27	3.18
120°	4.11	4.06	4.06	3.98	3.94	3.97	3.83	3.78	3.72

Tabella C.5: *Variazione delle m_v della Luna in funzione dell'angolo di fase. (Lane et Irvine, 1973).*

Band	λ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	$\frac{hc}{\lambda\Delta\lambda A\Omega}$ $\frac{J}{m^2nmsterad}$	SI $\frac{W}{m^2nm}$	Responsività $\frac{phot}{DN}$	Responsività $\frac{s}{DN}$
0	350.540	7.20000	2.0443056e-010	1.09000	36358.083	2.1422501e-005
1	358.950	7.11000	2.0216794e-010	1.07000	35464.765	2.1051132e-005
2	366.290	7.37000	1.9112756e-010	1.15000	37600.738	1.9632326e-005
3	373.220	7.20000	1.9200766e-010	1.17000	38848.543	2.0028911e-005
4	379.490	7.39000	1.8398022e-010	1.12000	36979.985	1.9084013e-005
5	387.900	7.38000	1.8023529e-010	1.09000	43435.834	2.2563754e-005
6	395.180	7.21000	1.8108633e-010	1.20000	46836.776	2.2204513e-005
7	402.520	7.34000	1.7463544e-010	1.54000	42668.623	1.5200932e-005
8	409.550	7.32000	1.7210676e-010	1.74000	48462.615	1.5059321e-005
9	417.310	7.31000	1.6913743e-010	1.77000	51238.999	1.5382147e-005
10	424.360	7.40000	1.6430460e-010	1.70000	57898.590	1.7579990e-005
11	431.840	7.29000	1.6389493e-010	1.64000	66139.980	2.0765175e-005
12	439.190	7.13000	1.6476843e-010	1.79000	67675.369	1.9570482e-005
13	446.520	7.56000	1.5284569e-010	1.95000	71251.656	1.7545406e-005
14	453.720	7.06000	1.6107319e-010	2.05000	68777.280	1.6977131e-005
15	461.630	7.18000	1.5566731e-010	2.07000	73667.505	1.7404155e-005
16	468.410	7.18000	1.5341411e-010	2.03000	78028.200	1.8525534e-005
17	476.220	7.29000	1.4862119e-010	2.05000	75253.439	1.7139695e-005
18	486.290	7.26000	1.4614500e-010	1.97000	57611.267	1.3426878e-005
19	489.670	7.46000	1.4124516e-010	1.95000	47579.758	1.0827072e-005
20	497.770	7.29000	1.4218693e-010	1.95000	34311.496	7.8598563e-006
21	506.280	7.22000	1.4115228e-010	1.91000	35797.663	8.3111107e-006
22	512.220	7.54000	1.3359434e-010	1.86000	36493.023	8.2344540e-006
23	519.630	7.34000	1.3527751e-010	1.83000	36957.223	8.5826963e-006
24	527.660	7.23000	1.3524570e-010	1.85000	36197.540	8.3134383e-006
25	534.160	7.27000	1.3286487e-010	1.82000	36176.678	8.2969284e-006
continua alla pagina successiva						

Tabella C.6: *Responsività e parametri di calibrazione di VIMS-V: bands=1÷25.*

segue dalla pagina precedente						
Band	λ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	$\frac{hc}{\lambda\Delta\lambda A\Omega}$ $\frac{J}{m^2nmsterad}$	SI $\frac{W}{m^2nm}$	Responsività $\frac{phot}{DN}$	Responsività $\frac{s}{DN}$
26	541.560	7.35000	1.2962298e-010	1.77000	37849.157	8.7079275e-006
27	549.540	7.14000	1.3149778e-010	1.73000	37579.248	8.9736744e-006
28	556.140	7.31000	1.2691542e-010	1.72000	41725.487	9.6724658e-006
29	563.530	7.49000	1.2224103e-010	1.71000	46646.203	1.0475797e-005
30	571.310	7.19000	1.2560740e-010	1.71000	48032.672	1.1084235e-005
31	578.100	7.27000	1.2276612e-010	1.72000	50233.102	1.1263930e-005
32	585.480	7.49000	1.1765815e-010	1.71000	53002.247	1.1456977e-005
33	593.120	7.21000	1.2065300e-010	1.69000	52864.730	1.1856794e-005
34	599.380	6.00000	1.4347043e-010	1.67000	62604.232	1.6896607e-005
35	607.570	10.0000	8.4921878e-011	1.64000	75617.232	1.2301169e-005
36	615.050	7.32000	1.1460259e-010	1.62000	52195.014	1.1600008e-005
37	622.070	7.20000	1.1519779e-010	1.59000	49154.354	1.1188165e-005
38	629.400	7.47000	1.0974090e-010	1.57000	50712.917	1.1136207e-005
39	637.040	7.30000	1.1094975e-010	1.55000	48979.015	1.1014241e-005
40	644.080	7.20000	1.1126116e-010	1.53000	47312.941	1.0808912e-005
41	651.420	7.40000	1.0703433e-010	1.51000	45840.148	1.0208033e-005
42	659.100	7.23000	1.0827453e-010	1.49000	42291.425	9.6547762e-006
43	666.090	7.22000	1.0728667e-010	1.47000	36927.920	8.4670705e-006
44	673.420	7.45000	1.0284275e-010	1.45000	34654.839	7.7218155e-006
45	681.020	7.32000	1.0350111e-010	1.43000	32180.013	7.3172025e-006
46	688.030	7.29000	1.0286817e-010	1.41000	31788.470	7.2858704e-006
47	695.350	7.44000	9.9733149e-011	1.38000	32620.756	7.4063522e-006
48	702.880	7.33000	1.0014535e-010	1.36000	34030.222	7.8723884e-006
49	710.000	7.27000	9.9959282e-011	1.34000	35275.259	8.2668187e-006
50	717.330	7.43000	9.6807298e-011	1.32000	37545.502	8.6505139e-006
51	724.840	7.25000	9.8182865e-011	1.30000	37078.181	8.7975276e-006
52	731.980	7.24000	9.7359461e-011	1.28000	37448.585	8.9485669e-006
53	739.300	7.45000	9.3678287e-011	1.26000	39487.857	9.2232047e-006
54	746.760	7.30000	9.4648126e-011	1.25000	38969.433	9.2699192e-006
55	753.960	7.26000	9.4260779e-011	1.23000	38483.221	9.2650381e-006
56	761.280	7.42000	9.1341375e-011	1.21000	39240.275	9.3060213e-006
57	768.740	7.28000	9.2194502e-011	1.19000	38610.745	9.3975814e-006
58	775.950	7.26000	9.1589476e-011	1.17000	38599.078	9.4926300e-006
59	783.280	7.42000	8.8775876e-011	1.15000	39267.455	9.5231311e-006
60	790.720	7.33000	8.9020339e-011	1.13000	37794.196	9.3537508e-006
61	797.930	7.24000	8.9312556e-011	1.11000	37442.021	9.4645224e-006
62	805.220	7.38000	8.6825044e-011	1.10000	38938.286	9.6555949e-006
63	812.620	7.34000	8.6503229e-011	1.08000	39713.779	9.9930861e-006
64	819.890	7.29000	8.6324248e-011	1.06000	40407.601	1.0338080e-005
65	827.210	7.39000	8.4402574e-011	1.05000	41931.999	1.0589169e-005
66	834.630	7.30000	8.4683550e-011	1.03000	42725.666	1.1035717e-005
67	841.900	7.26000	8.4414839e-011	1.01000	41821.946	1.0981244e-005
68	849.220	7.32000	8.3001258e-011	0.992000	42679.399	1.1218665e-005
69	856.630	7.20000	8.3654666e-011	0.975000	42703.925	1.1510739e-005
70	863.910	7.32000	8.1589892e-011	0.960000	40978.908	1.0941463e-005
continua alla pagina successiva						

Tabella C.7: Responsività e parametri di calibrazione di VIMS-V: bands=26÷70.

segue dalla pagina precedente						
Band	λ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	$\frac{hc}{\lambda \Delta\lambda A \Omega}$ $\frac{J}{m^2 nm sterad}$	SI $\frac{W}{m^2 nm}$	Responsività $\frac{phot}{DN}$	Responsività $\frac{s}{DN}$
71	871.220	7.30000	8.1126964e-011	0.944000	40203.836	1.0854520e-005
72	878.630	7.42000	7.9141808e-011	0.929000	38926.157	1.0417935e-005
73	885.890	7.29000	7.9892970e-011	0.915000	36946.273	1.0134631e-005
74	893.860	7.31000	7.8963980e-011	0.901000	34934.762	9.6186002e-006
75	900.320	7.40000	7.7443917e-011	0.891000	34766.223	9.4932958e-006
76	907.870	7.31000	7.7745428e-011	0.882000	33477.384	9.2705959e-006
77	915.180	7.30000	7.7230081e-011	0.874000	33275.755	9.2374659e-006
78	922.540	7.41000	7.5476634e-011	0.866000	34167.490	9.3552960e-006
79	929.830	7.29000	7.6117555e-011	0.858000	33376.424	9.3022333e-006
80	937.130	7.29000	7.5524617e-011	0.850000	33845.650	9.4476182e-006
81	944.450	7.43000	7.3527213e-011	0.843000	36452.341	9.9883982e-006
82	951.770	7.30000	7.4261038e-011	0.834000	37063.974	1.0368043e-005
83	959.070	7.27000	7.3999912e-011	0.822000	39694.287	1.1226315e-005
84	966.380	7.45000	7.1665762e-011	0.809000	43602.970	1.2134703e-005
85	973.820	7.22000	7.3383768e-011	0.796000	45755.835	1.3252058e-005
86	981.000	7.27000	7.2345665e-011	0.783000	50851.318	1.4760561e-005
87	988.830	7.46000	6.9944801e-011	0.769000	59273.119	1.6937010e-005
88	995.880	7.27000	7.1264705e-011	0.756000	64763.614	1.9179338e-005
89	1002.95	7.23000	7.1153835e-011	0.743000	75009.212	2.2567009e-005
90	1010.05	7.09000	7.2048808e-011	0.730000	86847.408	2.6928409e-005
91	1016.95	7.27000	6.9788184e-011	0.719000	107872.17	3.2893667e-005
92	1024.71	7.62000	6.6078471e-011	0.707000	140338.35	4.1206601e-005
93	1031.95	6.95000	7.1940344e-011	0.695000	160868.00	5.2312711e-005
94	1038.65	6.72000	7.3922628e-011	0.685000	192831.19	6.5375337e-005
95	1045.98	7.50000	6.5770521e-011	0.674000	276053.83	8.4628186e-005

Tabella C.8: Responsività e parametri di calibrazione di VIMS-V: bands=71÷95.

sample=5					sample=10			
Filtro	$\langle b \rangle$	σ_b	$\langle s \rangle$	σ_s	$\langle b \rangle$	σ_b	$\langle s \rangle$	σ_s
400	7.00397	0.529826	5.00013	0.158907	7.26234	0.541319	10.0003	0.264076
450	14.3036	0.511668	5.00028	0.183717	14.2642	0.514691	9.99909	0.147104
500	21.2064	0.648002	4.99991	0.157647	21.1887	0.583732	10.0785	0.314707
550	27.8020	0.566037	4.99991	0.174943	27.7861	0.554238	10.1080	0.323271
600	34.5479	0.533903	5.03397	0.334473	34.4923	0.577858	10.0896	0.343681
650	41.5476	0.518610	5.00005	0.146859	41.5312	0.535217	10.1673	0.359495
700	48.3351	0.509718	5.08468	0.346180	48.3543	0.497635	10.2240	0.379547
750	54.5582	0.766647	5.11901	0.360858	54.5294	0.817134	10.2492	0.385842
800	61.5087	0.595164	5.14906	0.366026	61.4827	0.562511	10.2936	0.399648
830	65.5747	0.686143	5.24250	0.373751	65.6043	0.664549	10.2878	0.396114
850	68.6039	0.587130	5.26122	0.387010	68.6054	0.615681	10.3712	0.401653
900	75.2199	0.662726	5.37315	0.415285	75.0647	0.686340	10.3784	0.409545
950	82.1802	0.755680	5.37925	0.430546	82.1762	0.789230	10.4628	0.454231
1000	88.8508	0.870871	5.46996	0.466754	88.7976	0.788731	10.5214	0.453645
sample=15					sample=20			
Filtro	$\langle b \rangle$	σ_b	$\langle s \rangle$	σ_s	$\langle b \rangle$	σ_b	$\langle s \rangle$	σ_s
400	7.00916	0.549034	15.1315	0.307485	6.92441	0.532941	20.1566	0.336339
450	14.1672	0.539964	14.9986	0.192001	14.1583	0.553887	20.2035	0.326294
500	21.1293	0.727949	15.0000	0.0277425	21.1581	0.595242	20.1698	0.331300
550	27.6747	0.547893	15.1208	0.319946	27.7049	0.639502	20.1968	0.337384
600	34.5214	0.533692	15.1544	0.358654	34.4494	0.513723	20.2900	0.392358
650	41.4898	0.553583	15.2243	0.352274	41.5008	0.510404	20.3547	0.404894
700	48.3086	0.513377	15.2759	0.375916	48.3167	0.552803	20.4032	0.413527
750	54.4556	0.718719	15.2685	0.369689	54.5426	0.757837	20.4875	0.463905
800	61.4210	0.565393	15.3457	0.399437	61.4108	0.551187	20.6210	0.430674
830	65.5380	0.624174	15.3729	0.390757	65.5424	0.583168	20.6508	0.414249
850	68.6104	0.626418	15.4567	0.431765	68.6075	0.590184	20.6623	0.414609
900	75.1194	0.683320	15.5277	0.444183	75.1641	0.667924	20.6646	0.421099
950	82.2115	0.790232	15.5765	0.448942	82.2380	0.758376	20.7180	0.412252
1000	88.7647	0.881989	15.6778	0.413702	88.7727	0.768592	20.7779	0.406091
sample=25					sample=30			
Filtro	$\langle b \rangle$	σ_b	$\langle s \rangle$	σ_s	$\langle b \rangle$	σ_b	$\langle s \rangle$	σ_s
400	6.90720	0.527849	25.1244	0.322864	7.09745	0.590126	30.0011	0.245218
450	14.2080	0.557047	25.1476	0.316173	14.1927	0.528100	30.1225	0.311371
500	21.1302	0.596167	25.1266	0.324868	21.1558	0.597081	30.1010	0.319926
550	27.7336	0.554225	25.1752	0.338595	27.6587	0.539303	30.1518	0.332179
600	34.4069	0.503345	25.2190	0.374462	34.4262	0.506364	30.2047	0.374119
650	41.4477	0.507301	25.2426	0.380192	41.5145	0.498651	30.2513	0.382344
700	48.3179	0.500774	25.2729	0.384510	48.3633	0.528556	30.2493	0.378407
750	54.4708	0.772244	25.3078	0.389191	54.4799	0.775163	30.2683	0.382172
800	61.4315	0.592838	25.4345	0.442624	61.4676	0.575174	30.3235	0.408614
830	65.5741	0.583854	25.5194	0.433073	65.5944	0.615933	30.3873	0.419612
850	68.6108	0.609946	25.5521	0.429686	68.5614	0.576924	30.4497	0.435434
900	75.2402	0.661597	25.5822	0.435741	74.8379	0.682857	30.5679	0.448633
950	82.1202	0.756786	25.6480	0.433555	82.1699	0.756205	30.6580	0.435140
1000	88.8616	0.797549	25.6994	0.416905	88.5873	0.707877	30.6981	0.411579

Tabella C.9: Misura del tilt spettrale di VIMS-V spare: baricentri dei segnali generati con i filtri interferenziali sui sample = 5, 10, 15, 20, 25, 30.

sample=32				
Filtro	$\langle b \rangle$	σ_b	$\langle s \rangle$	σ_s
400	7.16714	0.550776	32.0542	0.318045
450	14.0102	0.541124	32.0770	0.309972
500	21.0778	0.642328	31.9997	0.126618
550	27.7505	0.553703	31.9999	0.182720
600	34.2616	0.481025	32.1055	0.335590
650	41.3874	0.509845	32.1687	0.364694
700	48.3463	0.523826	32.1980	0.369183
750	54.4790	0.722364	32.2676	0.384068
800	61.4682	0.560110	32.2883	0.397982
830	65.5579	0.585221	32.2963	0.395926
850	68.6141	0.588361	32.4348	0.432140
900	75.1875	0.671594	32.4743	0.450968
950	82.2058	0.739436	32.4919	0.456878
1000	88.8517	0.836942	32.6507	0.426257

Tabella C.10: Misura del tilt spettrale di VIMS-V spare: baricentri dei segnali generati con i filtri interferenziali sul sample = 32 (centro della fenditura dello spettrometro).

sample=35					sample=40			
Filtro	$\langle b \rangle$	σ_b	$\langle s \rangle$	σ_s	$\langle b \rangle$	σ_b	$\langle s \rangle$	σ_s
400	7.10585	0.546569	34.9561	0.312934	6.97601	0.547459	40.0012	0.175717
450	14.1579	0.530554	34.9842	0.308071	14.1006	0.535162	40.0009	0.197835
500	21.1084	0.602669	35.0001	0.195264	21.1096	0.603083	40.0004	0.0359904
550	27.7086	0.545934	35.0000	0.138786	27.7450	0.552771	40.0672	0.319268
600	34.4353	0.497891	35.0009	0.234306	34.4094	0.497913	40.0886	0.347186
650	41.4913	0.522416	35.0883	0.348598	41.4875	0.502513	40.1187	0.354940
700	48.3308	0.500291	35.0699	0.354697	48.2788	0.504445	40.1482	0.363596
750	54.4693	0.755535	35.1150	0.365951	54.4836	0.719483	40.1767	0.378901
800	61.3406	0.556647	35.1587	0.377823	61.4629	0.557269	40.2307	0.384000
830	65.5989	0.591134	35.1935	0.367886	65.5284	0.584865	40.2687	0.395581
850	68.5868	0.610378	35.1865	0.372691	68.4762	0.574845	40.3229	0.403828
900	75.0783	0.678305	35.2090	0.384613	75.1737	0.663438	40.4140	0.433746
950	82.1419	0.757181	35.2405	0.394172	82.2741	0.728887	40.4771	0.455953
1000	88.8192	0.776569	35.2917	0.401081	88.8409	0.818978	40.5165	0.471279
sample=45					sample=50			
Filtro	$\langle b \rangle$	σ_b	$\langle s \rangle$	σ_s	$\langle b \rangle$	σ_b	$\langle s \rangle$	σ_s
400	6.91796	0.528284	45.0003	0.177204	7.05086	0.547937	49.9996	0.270468
450	14.1589	0.533912	44.9980	0.202434	14.1553	0.540469	49.9996	0.156855
500	21.0795	0.608880	45.0021	0.337174	20.9522	0.610342	50.0002	0.203313
550	27.6899	0.550435	45.0502	0.315452	27.6579	0.541020	50.0005	0.157898
600	34.4148	0.501494	45.0832	0.344430	34.4288	0.487776	49.9994	0.185713
650	41.4603	0.501287	45.1265	0.356949	41.4752	0.504479	50.0004	0.201959
700	48.2361	0.506966	45.1675	0.366652	48.3276	0.505229	50.0789	0.351769
750	54.4664	0.713939	45.2187	0.381547	54.4845	0.715430	50.1096	0.363055
800	61.4597	0.551180	45.2702	0.396363	61.4617	0.572627	50.1540	0.371662
830	65.5756	0.588333	45.2955	0.392963	65.5501	0.583826	50.1762	0.367572
850	68.5855	0.590574	45.3056	0.398788	68.5736	0.575211	50.2135	0.374624
900	75.1927	0.701074	45.3694	0.414386	75.1717	0.667854	50.2670	0.391000
950	82.1888	0.807284	45.4249	0.444478	82.1487	0.749397	50.3379	0.409528
1000	88.8540	0.811948	45.5175	0.468278	88.8287	0.780281	50.3915	0.441385
sample=55					sample=60			
Filtro	$\langle b \rangle$	σ_b	$\langle s \rangle$	σ_s	$\langle b \rangle$	σ_b	$\langle s \rangle$	σ_s
400	7.09339	0.572375	54.9997	0.0513537	6.90099	0.532519	60.0972	0.311573
450	14.0742	0.545927	55.0000	0.192044	14.1851	0.543285	60.1320	0.316173
500	20.9711	0.610536	55.0752	0.314399	20.9726	0.613238	59.9991	0.186206
550	27.6928	0.567038	55.1086	0.323294	27.6655	0.543782	60.1566	0.326518
600	34.3985	0.503005	55.1303	0.347254	34.3988	0.489962	60.2228	0.358097
650	41.4542	0.510353	55.1562	0.357806	41.5170	0.510339	60.2936	0.378889
700	48.3269	0.512819	55.1676	0.377680	48.3089	0.501185	60.3247	0.388314
750	54.4882	0.746913	55.1980	0.375127	54.4724	0.714106	60.3857	0.414987
800	61.4522	0.551641	55.2433	0.380732	61.4836	0.556937	60.5026	0.452713
830	65.5393	0.587739	55.2662	0.383007	65.5436	0.583406	60.5248	0.443186
850	68.5737	0.578541	55.3107	0.403338	68.6011	0.581498	60.5504	0.429664
900	75.1445	0.684389	55.4151	0.428525	75.2329	0.662457	60.5980	0.427997
950	82.1598	0.750911	55.4969	0.451202	82.2286	0.736639	60.6451	0.415406
1000	88.8231	0.782670	55.6319	0.428228	88.8626	0.781233	60.7336	0.399323

Tabella C.11: Misura del tilt spettrale di VIMS-V spare: baricentri dei segnali generati con i filtri interferenziali sui sample = 35, 40, 45, 50, 55, 60.

Tabelle VIRTIS

In questa Appendice sono raccolte alcune Tabelle relative ai capitoli 3, 4 e 5.

Modo operativo	Nominale VIS-IR	Nominale VIS	Nominale IR	Alta Spettrale	Alta Spaziale	Alta Spaziale-Spettrale & Calibrazione Interna
Binning (bands \times sample)	3 \times 4	1 \times 4	1 \times 4	1 \times 4	3 \times 1	1 \times 1
Risoluzione VIS $\Delta\lambda$ (nm) - $\Delta\alpha$ (μ rad)	5.4 - 1000	1.8 - 1000	n.a.	1.8 - 1000	5.4 - 250	1.8 - 250
Dim. frame VIS (band, sample)	138 \times 64	320 \times 64	n.a.	416 \times 64	138 \times 256	416 \times 256
# subslices VIS	5 \times 1=5	10 \times 1=10	0	13 \times 1=13	5 \times 4=20	13 \times 4=52
Risoluzione IR $\Delta\lambda$ (nm) - $\Delta\alpha$ (μ rad)	28.2 - 1000	n.a.	9.8 - 1000	9.8 - 1000	28.2 - 250	9.8 - 250
Dim. frame IR (band, sample)	145 \times 64	n.a.	320 \times 64	435 \times 64	145 \times 256	435 \times 256
# subslices IR	5 \times 1=5	0	10 \times 1 =10	14 \times 1=14	5 \times 4=20	14 \times 4=56
# subslices totali	10	10	10	27	40	108
Data volume (non compresso, compresso) (kw)	20 - 10	20 - 10	20 - 10	54 - 27	80 - 40	216 - 108

Tabella D.1: *Modi operativi di VIRTIS-M. Il data volume é espresso in Kw (kiloword).*

	band=93 VIS			band=94 VIS			band=95 VIS			band=96 VIS		
sample	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)
100	25079.60	397.06	1.91	25032.17	398.97	1.91	25125.13	400.85	1.95	25266.20	402.73	1.99
101	24031.88	397.06	1.88	25025.59	398.96	1.85	24833.12	400.85	1.89	25012.39	402.72	1.95
102	20445.51	397.05	1.88	21633.38	398.93	1.85	22690.32	400.82	1.82	22823.12	402.71	1.88
103	16723.95	397.02	1.88	17543.48	398.92	1.85	17959.77	400.81	1.85	18310.00	402.69	1.89
104	14784.02	397.01	1.89	15436.07	398.91	1.85	15927.47	400.80	1.85	15976.70	402.67	1.89
105	14639.63	397.00	1.88	15401.20	398.89	1.84	15752.59	400.78	1.84	15956.85	402.65	1.88
106	11659.03	397.02	1.88	12221.59	398.91	1.85	12488.48	400.80	1.85	12515.07	402.68	1.89
107	11372.27	396.98	1.90	11943.45	398.88	1.86	12213.36	400.77	1.85	12167.29	402.64	1.89
108	10994.63	396.96	1.89	11519.98	398.86	1.85	11799.31	400.75	1.85	11715.14	402.62	1.90
109	10491.45	396.97	1.90	11062.53	398.87	1.85	11340.12	400.76	1.85	11235.06	402.62	1.90
110	8932.52	396.97	1.91	9403.96	398.87	1.87	9595.68	400.75	1.87	9518.43	402.62	1.91
111	7852.28	396.96	1.92	8252.65	398.86	1.87	8406.84	400.75	1.87	8263.97	402.61	1.91
112	7222.16	396.95	1.93	7579.11	398.85	1.88	7641.69	400.73	1.88	7515.23	402.59	1.93
113	6983.34	396.94	1.94	7335.45	398.84	1.89	7418.78	400.72	1.89	7303.11	402.58	1.93
114	6877.16	396.94	1.94	7239.34	398.84	1.88	7407.01	400.72	1.89	7188.89	402.58	1.94
115	6092.85	396.95	1.95	6437.60	398.85	1.89	6541.81	400.73	1.90	6372.42	402.59	1.95
116	5326.53	396.96	1.96	5633.59	398.86	1.89	5698.80	400.74	1.91	5563.39	402.60	1.95
117	4416.09	396.96	1.98	4655.19	398.87	1.91	4708.73	400.74	1.92	4597.37	402.60	1.97
118	3679.06	396.97	2.00	3876.04	398.87	1.93	3899.47	400.75	1.93	3754.59	402.61	1.98
119	3402.77	396.97	2.01	3546.97	398.86	1.95	3576.39	400.74	1.94	3443.61	402.60	1.99
120	3203.53	396.97	2.03	3339.50	398.87	1.96	3372.61	400.74	1.96	3226.87	402.59	2.00
121	3227.66	396.96	2.01	3374.16	398.86	1.95	3392.63	400.73	1.95	3275.91	402.59	1.99
122	3009.98	396.97	2.01	3155.88	398.86	1.95	3198.83	400.74	1.94	3073.06	402.59	1.99
123	2594.11	396.99	2.02	2728.81	398.89	1.94	2741.63	400.77	1.95	2628.62	402.62	2.00
124	2170.69	397.01	2.04	2265.82	398.91	1.97	2275.24	400.79	1.96	2181.34	402.64	2.01
125	1876.67	397.03	2.07	1943.36	398.92	2.00	1941.25	400.79	1.99	1840.95	402.65	2.03
126	1708.41	397.03	2.09	1765.56	398.93	2.02	1750.83	400.80	2.01	1665.79	402.65	2.05
127	1651.34	397.03	2.09	1696.91	398.92	2.02	1688.90	400.80	2.01	1593.40	402.65	2.05
128	1632.98	397.02	2.09	1691.58	398.91	2.01	1666.97	400.79	1.99	1591.50	402.64	2.05
129	1594.47	397.02	2.09	1656.72	398.91	2.01	1657.12	400.79	2.00	1557.21	402.64	2.05
130	1438.53	397.05	2.11	1495.45	398.93	2.01	1487.94	400.81	2.02	1406.64	402.66	2.06
131	1321.79	397.07	2.12	1377.09	398.96	2.03	1359.95	400.83	2.02	1288.17	402.69	2.07
132	1163.94	397.11	2.15	1193.45	399.00	2.07	1176.60	400.86	2.07	1104.41	402.72	2.10
133	1095.37	397.12	2.17	1119.61	399.00	2.08	1103.88	400.87	2.07	1024.96	402.73	2.13
134	1107.61	397.10	2.17	1132.82	398.98	2.09	1112.48	400.85	2.08	1033.81	402.71	2.12
135	1037.01	397.11	2.19	1066.94	398.99	2.10	1048.11	400.85	2.08	980.00	402.71	2.13
136	989.29	397.12	2.17	1017.21	399.01	2.10	997.99	400.87	2.08	932.21	402.73	2.14
137	992.18	397.09	2.17	1011.73	398.99	2.09	1005.78	400.86	2.08	942.68	402.72	2.12
138	913.64	397.13	2.19	939.26	399.01	2.10	930.21	400.88	2.08	868.15	402.74	2.14
139	855.51	397.14	2.20	877.88	399.03	2.12	859.65	400.90	2.12	798.18	402.77	2.18
140	819.82	397.14	2.21	832.74	399.03	2.14	817.37	400.91	2.14	758.08	402.77	2.19
141	780.03	397.13	2.23	797.34	399.02	2.13	785.77	400.89	2.13	732.19	402.76	2.20
142	751.93	397.14	2.23	754.82	399.03	2.17	738.74	400.89	2.16	687.45	402.77	2.20
143	740.15	397.13	2.21	757.20	399.01	2.13	743.99	400.88	2.12	690.86	402.75	2.18
144	740.84	397.11	2.21	759.45	399.00	2.13	756.27	400.86	2.11	708.86	402.73	2.16
145	659.36	397.12	2.25	655.30	399.00	2.10	657.05	400.87	2.16	611.85	402.74	2.22
146	667.80	397.08	2.21	682.36	398.97	2.13	668.02	400.84	2.13	624.00	402.70	2.18
147	635.01	397.09	2.23	645.94	398.99	2.15	631.00	400.86	2.15	595.94	402.72	2.19
148	639.65	397.08	2.21	655.11	398.97	2.13	634.71	400.84	2.11	597.49	402.70	2.19
149	650.93	397.06	2.22	666.06	398.95	2.12	653.68	400.82	2.13	606.03	402.68	2.17
150	689.25	397.01	2.19	704.15	398.91	2.11	683.27	400.78	2.12	644.04	402.64	2.16
151	743.44	396.96	2.16	761.62	398.86	2.08	754.05	400.73	2.07	707.10	402.58	2.12
152	732.92	396.96	2.16	752.90	398.86	2.07	740.92	400.73	2.03	695.10	402.57	2.11
153	713.88	396.94	2.11	731.39	398.84	2.04	725.39	400.72	2.03	670.25	402.56	2.07
154	361.34	396.97	2.19	381.24	398.86	2.07	372.59	400.75	2.11	358.34	402.57	2.13

Tabella D.2: Calibrazione spettrale VIRTIS-M-VIS: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 400 nm; intervallo spaziale sample=100÷154, intervallo spettrale bands=93÷96.

	band=172 VIS			band=173 VIS			band=174 VIS			band=175 VIS			band=176 VIS		
sample	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)
100	1945.22	546.17	1.85	1844.33	548.02	1.83	1784.85	549.92	1.85	1682.46	551.77	1.91	1727.39	553.68	1.88
101	11846.9	546.20	1.89	12274.5	548.09	1.84	12744.5	549.99	1.85	13053.5	551.87	1.87	13659.0	553.77	1.88
102	11496.6	546.16	1.91	12024.6	548.06	1.86	12563.7	549.95	1.87	13014.4	551.84	1.89	9306.46	553.58	1.87
103	11347.4	546.12	1.90	11873.9	548.02	1.85	12362.8	549.91	1.86	12774.8	551.80	1.88	19630.0	553.54	1.86
104	10921.5	546.10	1.89	11400.9	548.00	1.84	11891.0	549.90	1.85	12286.4	551.78	1.87	13026.2	553.67	1.86
105	8867.70	546.12	1.91	9302.98	548.02	1.85	9730.35	549.91	1.87	10066.7	551.79	1.88	15020.3	553.53	1.87
106	8665.55	546.07	1.92	9085.94	547.96	1.87	9488.02	549.86	1.88	9761.81	551.74	1.90	10362.1	553.64	1.88
107	8997.42	546.06	1.90	9417.16	547.96	1.85	9867.44	549.85	1.86	10168.5	551.73	1.87	10796.9	553.63	1.86
108	9094.61	546.05	1.90	9516.03	547.95	1.86	9949.19	549.85	1.86	10230.3	551.72	1.88	10967.9	553.62	1.86
109	8876.22	546.04	1.90	9325.78	547.94	1.86	9679.86	549.83	1.87	9988.29	551.71	1.88	10713.5	553.61	1.86
110	8648.70	546.02	1.90	9102.04	547.91	1.86	9442.90	549.81	1.88	9760.53	551.68	1.88	10477.3	553.58	1.85
111	8699.55	546.01	1.90	9164.78	547.91	1.86	9546.37	549.80	1.87	9785.39	551.67	1.88	10540.1	553.58	1.84
112	8780.23	546.00	1.89	9210.11	547.89	1.85	9590.06	549.80	1.86	9799.00	551.66	1.87	10627.5	553.57	1.83
113	8860.45	545.98	1.89	9300.90	547.88	1.85	9687.37	549.78	1.86	9920.22	551.65	1.87	10749.9	553.55	1.83
114	8410.73	545.98	1.90	8840.23	547.88	1.85	9219.42	549.79	1.87	9496.45	551.65	1.88	10252.7	553.56	1.83
115	7605.15	545.98	1.91	8029.66	547.88	1.86	8305.48	549.79	1.88	8512.50	551.62	1.89	9271.18	553.59	1.84
116	6954.19	545.99	1.91	7325.38	547.88	1.86	7607.58	549.78	1.88	7855.50	551.65	1.89	8497.85	553.55	1.83
117	6656.98	545.98	1.90	6993.40	547.87	1.87	7248.41	549.78	1.88	7463.43	551.64	1.89	8113.42	553.55	1.83
118	6437.55	545.98	1.91	6740.11	547.87	1.87	7004.21	549.77	1.89	7180.27	551.63	1.90	7904.95	553.54	1.82
119	6312.75	545.97	1.92	6640.70	547.86	1.87	6841.33	549.77	1.89	7022.23	551.63	1.90	7670.86	553.54	1.84
120	5932.58	545.96	1.92	6227.60	547.85	1.88	6427.19	549.76	1.91	6660.20	551.62	1.91	7200.63	553.54	1.84
121	5483.61	545.97	1.93	5794.54	547.85	1.89	5948.92	549.77	1.91	6141.13	551.62	1.92	6680.02	553.53	1.85
122	5128.21	545.97	1.94	5390.53	547.86	1.89	5561.10	549.76	1.91	5697.19	551.62	1.92	6189.98	553.54	1.85
123	4721.37	545.97	1.94	4996.13	547.86	1.90	5138.81	549.76	1.92	5284.52	551.62	1.93	5749.30	553.53	1.85
124	4396.38	545.98	1.93	4601.29	547.87	1.90	4748.95	549.78	1.93	4871.16	551.64	1.94	5291.90	553.55	1.85
125	4123.65	545.99	1.95	4326.86	547.88	1.91	4457.39	549.79	1.93	4562.96	551.64	1.95	4999.28	553.56	1.86
126	3994.29	545.99	1.96	4207.56	547.88	1.92	4336.90	549.79	1.94	4455.72	551.64	1.95	4832.79	553.56	1.86
127	3802.95	545.99	1.97	4004.67	547.88	1.93	4136.75	549.78	1.95	4251.68	551.64	1.96	4626.04	553.55	1.87
128	3602.35	545.98	1.97	3787.70	547.88	1.93	3910.19	549.78	1.95	4025.66	551.64	1.96	4361.57	553.55	1.88
129	4649.39	546.19	1.97	3598.79	547.86	1.93	3717.32	549.77	1.96	3831.37	551.63	1.96	4122.91	553.57	1.88
130	3305.96	545.98	1.96	3448.22	547.87	1.93	3546.22	549.77	1.95	3670.36	551.63	1.96	3963.15	553.57	1.88
131	3150.18	545.99	1.97	3301.41	547.87	1.94	3424.93	549.78	1.96	3529.52	551.64	1.97	3797.73	553.55	1.89
132	3032.44	546.01	1.98	3183.71	547.89	1.94	3271.95	549.80	1.96	3350.98	551.65	1.98	3644.78	553.57	1.89
133	2936.80	546.01	1.99	3067.64	547.90	1.96	3171.52	549.81	1.98	3265.03	551.66	1.99	3520.44	553.57	1.90
134	2851.78	546.01	2.00	2974.86	547.90	1.96	3076.71	549.81	1.98	3160.94	551.66	2.00	3404.54	553.58	1.91
135	2805.02	545.99	1.99	2941.73	547.88	1.95	3028.11	549.78	1.98	3126.40	551.64	1.98	3346.84	553.55	1.91
136	2635.94	545.98	1.99	2739.81	547.87	1.96	2835.00	549.77	1.98	2911.96	551.63	1.99	3135.78	553.54	1.92
137	2729.75	546.19	1.98	2577.86	547.84	1.95	2657.46	549.77	1.97	2723.91	551.63	1.98	2926.71	553.54	1.90
138	3515.52	546.19	1.96	2596.80	547.87	1.94	2677.21	549.77	1.96	2763.96	551.63	1.97	2955.27	553.54	1.89
139	3500.67	546.19	1.96	2546.22	547.87	1.95	2618.32	549.77	1.98	2696.78	551.63	1.98	2879.92	553.54	1.90
140	3199.88	546.19	1.97	2466.43	547.87	1.95	2522.23	549.77	1.98	2598.32	551.63	1.98	2794.09	553.54	1.90
141	4586.31	546.19	1.97	2378.48	547.86	1.95	2441.67	549.78	1.98	2527.56	551.62	1.99	2697.63	553.56	1.91
142	3943.37	546.19	1.98	2247.28	547.85	1.95	2301.44	549.75	1.98	2371.27	551.61	1.98	2546.61	553.52	1.91
143	2049.54	545.95	1.98	2159.38	547.84	1.95	2212.29	549.74	1.98	2284.95	551.60	1.98	2426.26	553.52	1.91
144	3344.11	546.19	1.92	2065.10	547.84	1.96	2119.37	549.75	1.99	2181.90	551.61	1.99	2326.39	553.52	1.92
145	4411.17	546.19	1.98	1980.50	547.85	1.95	2026.44	549.75	1.98	2098.08	551.61	1.98	2230.05	553.52	1.92
146	1896.61	545.92	1.98	1986.85	547.81	1.95	2034.89	549.71	1.98	2105.52	551.56	1.97	2243.32	553.48	1.91
147	1915.02	545.91	1.97	2006.54	547.80	1.94	2051.17	549.70	1.98	2123.18	551.55	1.97	2252.88	553.47	1.91
148	1871.01	545.92	1.98	1957.48	547.81	1.95	1996.76	549.71	1.98	2074.80	551.56	1.97	2202.67	553.48	1.91
149	1984.32	545.90	1.97	2063.77	547.79	1.94	2104.77	549.69	1.98	2194.36	551.55	1.96	2328.33	553.46	1.90
150	1952.21	545.89	1.99	2053.35	547.79	1.96	2095.01	549.69	1.99	2180.48	551.54	1.97	2304.52	553.45	1.92
151	2003.29	545.87	1.97	2077.43	547.77	1.95	2125.77	549.66	1.99	2200.51	551.52	1.97	2327.84	553.44	1.92
152	2162.47	545.85	1.96	2270.15	547.74	1.94	2300.95	549.64	1.97	2393.24	551.49	1.96	2527.55	553.41	1.91
153	2277.13	545.84	1.96	2391.70	547.74	1.93	2427.16	549.63	1.96	2517.56	551.49	1.95	2670.51	553.41	1.90
154	2340.34	545.85	1.96	2456.55	547.74	1.93	2502.91	549.64	1.97	2610.96	551.49	1.95	2756.99	553.41	1.91

Tabella D.3: *Calibrazione spettrale VIRTIS-M-VIS: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 550 nm; intervallo spaziale sample=100÷154, intervallo spettrale bands=172÷176.*

	band=412 VIS			band=413 VIS			band=414 VIS			band=415 VIS		
sample	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)
104	9915.61	998.08	1.98	9319.61	999.97	1.98	8744.36	1001.87	1.99	8135.09	1003.74	1.98
105	11803.6	998.08	2.01	11218.1	999.99	2.01	10639.9	1001.87	2.01	9921.96	1003.76	1.99
106	10657.4	998.07	2.02	10088.8	999.98	2.03	9641.83	1001.86	2.02	8903.76	1003.75	2.00
107	9695.26	998.05	2.03	9162.72	999.97	2.04	8736.41	1001.84	2.03	8105.19	1003.73	2.01
108	8333.76	998.03	2.05	7889.56	999.94	2.06	7493.21	1001.82	2.05	6933.12	1003.71	2.03
109	7977.39	998.02	2.06	7556.45	999.93	2.07	7171.68	1001.81	2.06	6582.84	1003.70	2.04
110	7933.24	998.00	2.06	7424.54	999.92	2.07	7103.78	1001.80	2.07	6540.18	1003.68	2.05
111	7448.72	997.99	2.07	6996.39	999.90	2.08	6678.01	1001.78	2.09	6147.70	1003.66	2.05
112	6907.21	997.97	2.08	6474.01	999.88	2.10	6191.00	1001.76	2.10	5696.46	1003.64	2.06
113	6234.56	997.97	2.11	5878.44	999.88	2.12	5547.33	1001.76	2.12	5159.85	1003.64	2.07
114	5795.42	997.99	2.13	5470.44	999.90	2.15	5194.31	1001.78	2.15	4686.42	1003.66	2.09
115	5467.32	998.01	2.15	5174.46	999.92	2.17	4936.55	1001.81	2.17	4471.66	1003.68	2.10
116	5309.23	998.00	2.16	5007.52	999.91	2.18	4735.81	1001.80	2.18	4338.47	1003.67	2.11
117	5083.95	997.99	2.17	4775.57	999.89	2.20	4522.37	1001.78	2.21	4036.89	1003.65	2.13
118	4542.20	997.96	2.20	4301.55	999.87	2.22	4058.60	1001.75	2.22	3690.74	1003.62	2.14
119	4013.74	997.94	2.22	3808.49	999.85	2.24	3602.12	1001.73	2.25	3308.47	1003.60	2.17
120	3680.87	997.94	2.26	3476.88	999.84	2.27	3292.36	1001.72	2.28	3030.20	1003.60	2.19
121	3468.16	997.96	2.29	3293.68	999.86	2.30	3104.17	1001.74	2.32	2848.50	1003.61	2.22
122	3372.77	997.97	2.33	3183.18	999.88	2.34	3002.05	1001.76	2.34	2782.01	1003.63	2.23
123	3244.69	997.97	2.33	3075.69	999.88	2.35	2911.90	1001.75	2.35	2665.97	1003.63	2.25
124	3087.51	997.96	2.34	2930.09	999.87	2.36	2775.19	1001.74	2.35	2544.90	1003.61	2.25
125	2914.72	997.93	2.34	2771.81	999.83	2.37	2634.50	1001.71	2.35	2394.01	1003.58	2.26
126	2774.56	997.90	2.36	2640.80	999.80	2.39	2490.60	1001.68	2.38	2290.52	1003.55	2.27
127	2644.62	997.89	2.38	2507.51	999.79	2.41	2384.29	1001.67	2.41	2181.85	1003.54	2.25
128	2547.87	997.90	2.40	2406.58	999.80	2.44	2289.65	1001.68	2.43	2082.02	1003.54	2.31
129	2526.95	997.91	2.41	2382.35	999.86	2.45	2266.91	1001.69	2.44	2071.44	1003.55	2.32
130	2515.61	997.91	2.40	2368.89	999.80	2.44	2265.86	1001.68	2.41	2069.86	1003.55	2.31
131	2502.22	997.90	2.38	2360.83	999.79	2.42	2252.86	1001.67	2.41	2056.63	1003.54	2.29
132	2442.35	997.87	2.38	2290.50	999.77	2.42	2184.64	1001.65	2.41	2015.04	1003.52	2.30
133	2366.55	997.84	2.40	2244.19	999.73	2.42	2127.10	1001.61	2.42	1950.51	1003.48	2.32
134	2305.95	997.82	2.41	2207.36	999.71	2.45	2086.91	1001.59	2.44	1916.56	1003.46	2.34
135	2291.51	997.83	2.42	2177.34	999.72	2.46	2074.21	1001.60	2.44	1902.57	1003.46	2.35
136	2282.89	997.84	2.41	2161.10	999.74	2.44	2057.79	1001.62	2.44	1896.57	1003.48	2.35
137	2269.14	997.85	2.40	2137.78	999.74	2.42	2032.78	1001.62	2.43	1873.51	1003.49	2.32
138	2202.05	997.84	2.39	2092.02	999.73	2.41	1977.29	1001.61	2.42	1837.32	1003.48	2.31
139	2048.50	997.82	2.40	1931.07	999.71	2.41	1846.27	1001.59	2.42	1710.27	1003.46	2.31
140	1885.62	997.80	2.39	1769.87	999.70	2.43	1685.10	1001.57	2.43	1563.70	1003.44	2.31
141	1821.68	997.79	2.41	1715.43	999.68	2.43	1636.44	1001.57	2.44	1506.99	1003.43	2.33
142	1790.06	997.79	2.43	1690.80	999.68	2.45	1604.41	1001.56	2.45	1480.99	1003.43	2.35
143	1765.66	997.74	2.41	1651.74	999.68	2.43	1572.05	1001.56	2.44	1438.81	1003.43	2.34
144	1678.52	997.78	2.41	1574.08	999.68	2.45	1502.87	1001.55	2.45	1381.52	1003.42	2.34
145	1576.60	997.77	2.42	1491.56	999.66	2.45	1412.78	1001.54	2.47	1298.53	1003.40	2.34
146	1520.12	997.76	2.40	1441.64	999.66	2.44	1370.23	1001.52	2.44	1254.24	1003.40	2.33
147	1455.56	997.78	2.43	1377.55	999.60	2.47	1311.07	1001.54	2.47	1199.13	1003.40	2.35
148	1417.09	997.76	2.45	1331.12	999.65	2.49	1261.56	1001.52	2.49	1167.37	1003.38	2.37
149	1430.97	997.71	2.43	1342.97	999.60	2.48	1286.62	1001.48	2.47	1178.82	1003.34	2.38
150	1512.08	997.71	2.42	1420.73	999.60	2.47	1352.87	1001.48	2.47	1238.84	1003.34	2.38
151	1549.25	997.72	2.42	1446.81	999.61	2.48	1385.30	1001.49	2.47	1272.47	1003.35	2.38
152	1625.38	997.71	2.41	1529.09	999.61	2.45	1461.67	1001.49	2.44	1340.80	1003.34	2.36
153	1642.72	997.71	2.40	1548.88	999.60	2.44	1469.03	1001.48	2.44	1356.53	1003.35	2.34
154	1631.90	997.70	2.40	1530.31	999.59	2.44	1460.08	1001.46	2.43	1339.07	1003.33	2.35
155	1694.32	997.67	2.40	1599.75	999.57	2.43	1521.39	1001.44	2.42	1398.92	1003.30	2.34
156	1800.88	997.69	2.40	1702.09	999.58	2.43	1610.36	1001.45	2.43	1481.20	1003.32	2.35
157	1835.96	997.71	2.39	1745.15	999.59	2.40	1650.96	1001.47	2.40	1513.05	1003.35	2.32
158	1311.50	997.72	2.33	1247.33	999.62	2.37	1210.06	1001.48	2.35	1113.73	1003.37	2.30

Tabella D.4: Calibrazione spettrale VIRTIS-M-VIS: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 1000 nm; intervallo spaziale sample=104÷158, intervallo spettrale bands=412÷415.

	band=1 IR			band=2 IR			band=3 IR		
sample	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)
108	1038.50	1000.85	11.22	10833.1	997.877	13.31	15453.6	1007.70	12.81
109	3801.01	1000.13	11.29	6531.25	998.180	14.36	15631.4	1007.22	13.06
110	11602.4	999.628	13.58	1696.92	999.136	14.24	18301.3	1007.22	12.47
111	17923.4	1000.16	13.05	445.860	999.698	15.02	16452.2	1007.25	12.62
112	17542.4	1000.10	12.69	1143.14	1010.25	10.83	12412.7	1007.24	13.02
113	14160.6	1000.41	12.86	4245.91	1009.56	11.13	7452.10	1007.49	14.08
114	14115.0	1000.24	13.03	13333.8	1009.05	13.34	1917.19	1008.38	13.72
115	14751.2	1000.29	12.95	19516.9	1009.50	13.40	474.172	1008.93	14.41
116	13335.5	999.961	13.48	19380.2	1009.46	13.02	1271.84	1019.34	10.84
117	15121.2	1000.25	12.97	16354.1	1009.79	12.71	4797.90	1018.84	11.34
118	15553.8	999.983	13.24	16416.4	1009.60	12.84	14947.6	1018.42	13.38
119	13339.8	999.907	13.92	16718.4	1009.65	12.87	-13276.3	1029.62	5.39
120	15267.4	1000.32	13.77	15317.6	1009.30	13.30	-12987.9	1029.55	5.24
121	14309.9	1000.04	13.33	17144.9	1009.62	12.91	18143.0	1019.18	12.97
122	14826.9	1000.20	13.58	17662.7	1009.34	13.26	18415.2	1019.05	13.08
123	15777.1	999.937	13.75	15159.7	1009.28	13.72	18669.6	1019.09	13.16
124	17917.2	999.831	13.80	16344.9	1009.52	13.27	17420.3	1018.80	13.68
125	17868.5	999.484	13.79	16286.7	1009.50	13.17	19261.6	1019.10	13.51
126	17823.3	999.597	13.56	16901.9	1009.54	13.49	-12757.1	1029.58	5.77
127	16622.2	999.800	13.47	17921.9	1009.28	13.72	17513.3	1018.82	14.20
128	16113.4	999.958	13.56	19714.6	1009.16	14.13	18895.3	1018.91	14.00
129	16297.4	1000.06	13.91	19762.6	1008.86	14.09	18766.6	1018.97	13.73
130	17347.8	999.775	14.05	19603.4	1008.99	13.83	19058.2	1019.04	13.99
131	18726.5	999.493	14.04	18970.4	1009.15	13.41	-13000.1	1029.62	5.64
132	19020.5	999.308	13.78	18251.5	1009.28	13.47	-14050.7	1029.59	5.39
133	18946.1	999.346	13.53	18441.1	1009.38	13.86	-14147.0	1029.55	5.67
134	18060.4	999.555	13.32	19264.4	1009.12	14.24	-13916.7	1029.56	5.74
135	16782.5	999.677	13.59	19874.9	1008.85	14.69	-13139.6	1029.60	5.83
136	16436.6	999.822	13.77	19981.6	1008.69	14.52	-12608.7	1029.66	5.81
137	17039.9	999.633	13.86	19929.6	1008.71	14.28	-12845.0	1029.68	5.48
138	18126.2	999.325	13.72	19467.4	1008.89	13.72	-13608.8	1029.66	5.50
139	18761.0	999.124	13.53	18883.1	1009.00	13.59	-14387.7	1029.60	5.34
140	18988.6	999.035	13.40	18744.0	1009.12	13.69	-14623.6	1029.34	5.16
141	18524.3	999.183	13.30	19025.6	1008.96	13.94	-14503.3	1029.48	5.48
142	17167.3	999.345	13.31	19800.7	1008.66	14.19	-13596.4	1029.58	5.84
143	16189.9	999.513	13.70	19896.6	1008.52	14.17	-12888.8	1029.70	6.15
144	16930.9	999.323	13.71	19935.7	1008.43	14.08	-12759.1	1029.62	5.49
145	17988.6	998.983	13.50	19757.8	1008.58	13.76	-13041.2	1029.77	6.05
146	18365.7	998.825	13.42	19213.1	1008.69	13.48	-13905.7	1029.70	6.04
147	18798.9	998.749	13.32	18137.5	1008.84	13.59	-16574.8	1029.66	6.85
148	17333.1	998.912	12.85	18939.5	1008.67	13.72	-16623.8	1029.61	6.93
149	16174.3	998.995	13.24	19473.1	1008.32	13.84	-21320.7	1029.61	7.52
150	15499.0	999.038	13.37	19708.6	1008.22	13.92	-17576.1	1029.66	7.26
151	15382.3	998.877	13.57	20031.3	1008.13	13.90	-22416.1	1029.81	8.25
152	16172.0	998.655	13.32	19424.2	1008.29	13.25	-27443.2	1030.18	9.60
153	16280.4	998.616	12.85	18385.7	1008.36	13.11	-16399.1	1029.26	6.07
154	14023.5	998.543	13.28	17665.0	1008.37	13.31	-17052.6	1029.21	6.13
155	14445.3	998.541	13.06	17822.7	1008.20	13.49	-28994.5	1030.06	9.95
156	14336.7	998.400	13.05	18403.4	1008.01	13.27	-16556.7	1029.04	5.87
157	13106.6	998.431	13.37	18554.9	1007.99	12.84	-13904.8	1028.84	5.11
158	12248.7	998.506	13.24	16283.0	1007.91	13.11	19626.6	1017.90	14.05
159	13010.4	998.338	13.10	16734.7	1007.91	12.89	19580.6	1017.73	14.04
160	13513.1	997.795	13.35	16505.8	1007.77	12.87	-14564.7	1028.79	5.37
161	16008.7	997.848	12.44	15380.3	1007.82	13.12	-14784.6	1029.31	7.19
162	14161.0	997.911	12.76	14833.4	1007.74	13.09	18594.0	1017.34	13.30

Tabella D.5: *Calibrazione spettrale VIRTIS-M-IR: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 1010 nm; intervallo spaziale sample=108÷166, intervallo spettrale bands=1÷3.*

	band=212 IR			band=213 IR			band=214 IR			band=215 IR		
sample	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)
108	940.994	2994.35	11.14	9167.31	2989.49	10.84	12470.4	2999.48	11.16	12748.6	3009.44	10.98
109	5170.09	2992.82	10.49	3956.83	2989.98	10.83	12195.3	2999.31	11.12	12648.1	3009.28	10.98
110	9279.18	2992.21	11.01	685.117	2991.67	11.70	12092.5	2999.14	11.04	12603.6	3009.12	10.96
111	10616.3	2992.05	11.15	209.596	2992.78	12.70	11388.3	2998.97	11.05	12498.7	3008.95	10.92
112	11179.5	2992.03	11.14	970.878	3003.78	11.09	9140.42	2998.85	11.22	12401.5	3008.78	10.88
113	11313.5	2992.07	11.19	5289.62	3002.24	10.56	4016.73	2999.37	11.16	12225.4	3008.62	10.87
114	11516.8	2992.06	11.30	9375.44	3001.63	11.19	701.212	3001.11	11.82	12037.7	3008.44	10.81
115	11640.4	2992.07	11.27	10545.9	3001.44	11.34	223.355	3002.15	12.73	11396.2	3008.28	10.79
116	11771.7	2992.09	11.37	11155.4	3001.43	11.34	930.975	3013.03	10.53	9009.68	3008.14	10.92
117	11842.0	2992.12	11.38	11309.0	3001.46	11.44	5104.47	3011.54	10.26	3844.08	3008.60	10.89
118	11971.3	2992.14	11.42	11517.7	3001.45	11.46	9166.11	3010.93	10.95	662.884	3010.31	11.30
119	11848.2	2992.16	11.45	11725.6	3001.48	11.51	10417.3	3010.72	11.09	197.536	3011.20	11.12
120	11987.0	2992.24	11.47	11832.0	3001.50	11.55	11070.9	3010.71	11.10	943.058	3022.71	11.53
121	12257.3	2992.26	11.50	11873.3	3001.53	11.63	11212.6	3010.75	11.19	4953.60	3020.97	11.11
122	12444.0	2992.27	11.48	11887.5	3001.54	11.69	11478.9	3010.73	11.22	8880.88	3020.28	11.72
123	12550.9	2992.29	11.47	11750.2	3001.55	11.71	11528.2	3010.78	11.27	10038.0	3020.06	11.83
124	12604.0	2992.27	11.52	11883.8	3001.62	11.74	11626.3	3010.82	11.36	10491.0	3020.05	11.84
125	12595.2	2992.33	11.55	12199.6	3001.63	11.75	11771.8	3010.85	11.42	10701.3	3020.07	11.91
126	12761.6	2992.35	11.54	12422.5	3001.67	11.75	11839.7	3010.84	11.44	10825.0	3020.02	11.93
127	12881.6	2992.38	11.58	12362.3	3001.69	11.78	11695.5	3010.83	11.46	10991.7	3020.11	11.99
128	13047.1	2992.42	11.57	12367.3	3001.68	11.83	11852.1	3010.90	11.48	10970.9	3020.14	12.08
129	12998.3	2992.39	11.62	12427.7	3001.73	11.83	12114.7	3010.94	11.48	11104.4	3020.15	12.14
130	13085.9	2992.39	11.61	12479.2	3001.73	11.88	12258.2	3010.97	11.48	11178.3	3020.14	12.10
131	13237.7	2992.36	11.64	12706.2	3001.79	11.88	12388.0	3011.00	11.47	11076.9	3020.13	12.13
132	13202.4	2992.36	11.66	12863.3	3001.82	11.86	12390.7	3010.98	11.50	11317.3	3020.18	12.15
133	13376.8	2992.35	11.65	12641.5	3001.79	11.96	12335.6	3011.03	11.55	11446.4	3020.22	12.15
134	13228.3	2992.37	11.64	12786.5	3001.78	11.95	12610.2	3011.06	11.53	11640.9	3020.28	12.13
135	13243.8	2992.36	11.61	12899.2	3001.75	11.95	12696.2	3011.07	11.55	11760.7	3020.30	12.13
136	13258.1	2992.35	11.57	12906.2	3001.76	11.98	12728.2	3011.09	11.54	11820.8	3020.29	12.18
137	13196.0	2992.31	11.49	12946.3	3001.73	11.94	12678.9	3011.06	11.57	11731.7	3020.35	12.23
138	13339.2	2992.30	11.48	13032.5	3001.74	11.90	12686.4	3011.04	11.56	11870.1	3020.35	12.22
139	13301.0	2992.28	11.45	12984.4	3001.75	11.86	13017.0	3011.04	11.59	11987.8	3020.38	12.22
140	13370.3	2992.15	11.46	13047.7	3001.73	11.83	12946.0	3011.04	11.59	12069.4	3020.37	12.21
141	13433.1	2992.12	11.44	12924.4	3001.71	11.77	13031.5	3011.03	11.56	12057.3	3020.34	12.25
142	13441.8	2992.08	11.42	12949.5	3001.69	11.76	13020.5	3011.03	11.56	2732.65	3019.37	3.846
143	13463.1	2992.04	11.38	13010.8	3001.60	11.79	13037.0	3011.05	11.53	12293.3	3020.33	12.24
144	13402.4	2991.99	11.32	13073.4	3001.54	11.77	13010.4	3011.03	11.49	12317.1	3020.34	12.25
145	13368.2	2991.91	11.31	13184.1	3001.49	11.75	12996.0	3010.99	11.46	12358.1	3020.31	12.25
146	13581.1	2991.84	11.30	13171.1	3001.46	11.71	13074.9	3010.95	11.41	12324.7	3020.31	12.23
147	13653.7	2991.73	11.29	13132.3	3001.40	11.68	13058.8	3010.87	11.43	12323.4	3020.31	12.21
148	13475.7	2991.63	11.27	13028.8	3001.35	11.62	13059.9	3010.82	11.41	12294.8	3020.32	12.18
149	13369.2	2991.50	11.19	13104.3	3001.29	11.62	13114.4	3010.79	11.38	12308.4	3020.27	12.16
150	13250.1	2991.41	11.18	13202.0	3001.22	11.58	13172.1	3010.75	11.38	12374.1	3020.24	12.10
151	13270.6	2991.28	11.14	13414.2	3001.10	11.57	13072.1	3010.68	11.35	12403.0	3020.15	12.08
152	13259.1	2991.16	11.09	13250.8	3001.00	11.56	13036.4	3010.66	11.30	12480.1	3020.10	12.05
153	13166.0	2991.06	11.05	13099.7	3000.89	11.53	13100.6	3010.57	11.32	12461.7	3020.04	12.02
154	13126.7	2990.89	11.02	13057.6	3000.77	11.46	13256.2	3010.52	11.29	12473.2	3020.03	12.04
155	13032.6	2990.75	10.97	13083.4	3000.67	11.43	13344.5	3010.41	11.28	12471.8	3019.98	12.03
156	12970.2	2990.60	10.93	12869.9	3000.53	11.41	13173.8	3010.32	11.23	12528.9	3019.93	11.92
157	12813.8	2990.43	10.88	12899.1	3000.42	11.37	13111.3	3010.20	11.19	12487.9	3019.84	11.89
158	12697.1	2990.27	10.86	12885.4	3000.26	11.33	13004.6	3010.07	11.18	12566.3	3019.76	11.87
159	12601.2	2990.11	10.80	12793.0	3000.13	11.28	12958.0	3009.95	11.14	12585.8	3019.66	11.83
160	12394.2	2989.95	10.74	12711.3	2999.99	11.25	12858.2	3009.84	11.09	12541.3	3019.55	11.82
161	12230.7	2989.79	10.69	12656.4	2999.82	11.24	12957.6	3009.72	11.07	12472.0	3019.41	11.79
162	11601.1	2989.61	10.71	12612.8	2999.64	11.19	12796.1	3009.58	11.04	12383.5	3019.31	11.74

Tabella D.6: Calibrazione spettrale VIRTIS-M-IR: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 3000 nm; intervallo spaziale sample=108÷166, intervallo spettrale bands=212÷215.

	band=418 IR			band=419 IR			band=420 IR			band=421 IR		
sample	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)
108	509.262	4939.04	15.89	476.523	4948.15	15.55	424.416	4958.15	18.44	482.231	4967.50	16.70
109	3079.47	4936.34	14.12	2960.62	4945.66	13.81	2601.22	4955.12	15.84	2937.37	4964.87	14.04
110	4998.77	4935.52	13.24	4845.98	4944.90	13.03	4238.02	4954.23	14.61	4755.87	4964.04	13.11
111	5524.28	4935.39	13.04	5276.80	4944.82	12.88	4626.38	4954.08	14.27	5167.01	4963.93	12.80
112	5787.15	4935.46	13.05	5534.57	4944.86	12.87	4855.81	4954.13	14.30	5417.71	4964.02	13.00
113	5994.48	4935.51	13.01	5731.91	4944.93	12.83	5029.75	4954.20	14.27	5591.56	4964.11	13.01
114	6151.38	4935.56	12.91	5918.75	4944.99	12.80	5178.58	4954.26	14.30	5836.49	4964.19	12.97
115	6216.67	4935.61	13.01	5935.06	4945.06	12.89	5295.22	4954.32	14.35	5974.27	4964.22	12.86
116	6422.70	4935.68	13.03	6233.81	4945.12	12.90	5477.92	4954.34	14.41	6151.65	4964.28	12.90
117	6540.32	4935.74	13.12	6322.92	4945.20	12.87	5519.99	4954.42	14.48	6231.82	4964.40	12.91
118	6522.97	4935.74	13.13	6286.19	4945.23	12.84	5462.77	4954.47	14.49	6224.02	4964.40	12.85
119	6559.04	4935.77	13.18	6315.87	4945.23	12.93	5443.04	4954.47	14.64	6268.96	4964.50	12.84
120	6794.27	4935.84	13.27	6503.10	4945.24	12.94	5517.50	4954.51	14.81	6368.85	4964.61	12.91
121	6890.71	4935.88	13.18	6602.33	4945.29	12.93	5631.17	4954.55	14.79	6481.79	4964.65	12.88
122	6957.31	4935.95	13.26	6621.88	4945.37	12.94	5780.39	4954.61	14.75	6612.57	4964.63	12.82
123	7015.39	4936.03	13.22	6755.35	4945.45	12.91	5777.83	4954.62	14.80	6645.03	4964.69	12.84
124	7012.59	4936.05	13.29	6805.31	4945.45	12.94	5797.10	4954.62	14.89	6700.85	4964.72	12.89
125	7138.79	4936.07	13.42	6890.77	4945.48	13.01	5884.35	4954.66	14.90	6740.81	4964.76	12.99
126	7216.04	4936.12	13.35	7006.29	4945.51	13.03	5948.52	4954.72	14.85	6893.66	4964.83	12.91
127	7252.78	4936.20	13.39	7004.76	4945.56	13.10	5949.95	4954.75	14.97	6889.91	4964.90	12.93
128	7354.21	4936.18	13.42	7063.63	4945.56	13.06	5992.73	4954.75	14.97	6858.55	4964.89	12.92
129	7464.81	4936.22	13.39	7197.77	4945.61	13.07	6131.44	4954.77	14.92	6971.49	4964.92	12.96
130	7620.52	4936.25	13.42	7283.79	4945.66	13.11	6207.86	4954.82	14.95	7148.60	4964.94	12.93
131	7621.06	4936.23	13.38	7315.47	4945.61	13.11	6300.02	4954.81	14.91	7193.63	4964.95	12.98
132	7612.07	4936.24	13.45	7297.70	4945.62	13.18	6317.78	4954.80	14.97	7184.87	4964.95	12.99
133	7610.51	4936.21	13.42	7379.55	4945.64	13.13	6286.73	4954.78	14.89	7156.19	4964.94	13.01
134	7568.47	4936.24	13.49	7341.50	4945.64	13.14	6313.94	4954.78	14.93	7202.14	4964.98	12.99
135	7474.03	4936.22	13.41	7175.03	4945.60	13.16	6213.81	4954.76	14.94	7109.19	4964.96	12.92
136	7321.00	4936.26	13.36	7126.38	4945.64	13.14	6047.14	4954.80	14.95	7012.31	4964.98	12.94
137	7420.83	4936.25	13.39	7168.11	4945.64	13.10	6168.06	4954.82	14.97	7037.03	4964.97	12.91
138	7474.00	4936.26	13.37	7235.03	4945.63	13.10	6157.53	4954.76	14.94	7079.98	4964.95	12.95
139	7369.34	4936.17	13.45	7171.38	4945.58	13.12	6151.51	4954.69	14.95	7032.40	4964.88	13.01
140	7408.90	4936.13	13.43	7156.61	4945.49	13.09	6093.68	4954.65	14.95	6919.71	4964.85	12.77
141	7339.26	4936.11	13.40	7164.79	4945.46	13.03	6003.09	4954.62	14.97	6874.84	4964.84	12.89
142	7300.76	4936.06	13.35	7097.51	4945.43	12.97	6013.57	4954.57	14.89	6920.28	4964.77	12.80
143	7263.88	4936.10	13.22	7015.57	4945.48	12.94	5930.04	4954.62	14.89	6801.97	4964.81	12.76
144	6998.90	4935.89	13.30	6707.20	4945.25	12.99	5707.87	4954.41	14.80	6510.63	4964.63	12.78
145	7153.15	4935.87	13.26	6892.16	4945.24	12.93	5773.75	4954.32	14.68	6653.63	4964.64	12.80
146	7294.91	4935.80	13.25	7031.57	4945.19	12.94	5918.10	4954.30	14.76	6878.19	4964.57	12.74
147	7259.20	4935.69	13.21	6962.35	4945.06	12.89	5943.06	4954.20	14.68	6759.41	4964.41	12.52
148	7227.00	4935.57	13.22	6931.67	4944.94	12.92	5867.33	4954.08	14.70	6753.42	4964.30	12.71
149	7156.50	4935.49	13.15	6938.39	4944.89	12.87	5879.65	4954.01	14.60	6703.65	4964.24	12.76
150	7175.99	4935.40	13.13	6826.18	4944.80	12.91	5880.16	4953.95	14.57	6742.57	4964.15	12.73
151	7091.94	4935.28	13.08	6794.89	4944.70	12.94	5887.02	4953.84	14.47	6655.40	4964.01	12.78
152	7143.72	4935.20	12.96	6846.43	4944.61	12.87	5941.68	4953.78	14.40	6714.15	4963.90	12.69
153	7146.68	4935.05	13.04	6876.93	4944.48	12.92	5931.45	4953.66	14.36	6634.50	4963.77	12.68
154	7174.61	4934.93	12.97	6792.86	4944.39	12.90	5959.20	4953.58	14.28	6596.74	4963.66	12.67
155	7113.97	4934.81	12.93	6744.22	4944.27	12.88	5921.05	4953.45	14.19	6592.70	4963.52	12.70
156	7076.49	4934.68	12.94	6745.57	4944.12	12.87	5945.91	4953.31	14.13	6600.63	4963.36	12.70
157	6959.46	4934.52	12.93	6624.77	4943.98	12.89	5924.11	4953.17	14.10	6476.20	4963.19	12.47
158	6876.77	4934.32	12.91	6527.33	4943.78	12.89	5854.38	4952.99	13.99	6408.43	4963.01	12.77
159	6873.44	4934.22	12.85	6530.76	4943.68	12.82	5866.27	4952.85	13.88	6366.35	4962.87	12.67
160	6804.90	4934.08	12.76	6507.29	4943.53	12.77	5789.06	4952.70	13.80	6346.58	4962.72	12.62
161	6615.83	4933.91	12.68	6296.85	4943.36	12.67	5689.03	4952.55	13.61	6199.05	4962.53	12.47
162	6347.31	4933.75	12.65	6055.01	4943.17	12.65	5467.09	4952.37	13.48	5934.29	4962.38	12.43
163	4419.29	4933.99	12.54	4239.33	4943.40	12.58	3805.77	4952.59	13.51	4173.86	4962.61	12.40
164	705.884	4935.59	13.76	703.096	4945.00	13.62	592.129	4954.19	16.25	673.760	4964.16	14.18

Tabella D.7: Calibrazione spettrale VIRTIS-M-IR: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 5000 nm; intervallo spaziale sample=108÷164, intervallo spettrale bands=418÷421.

	band=422 IR			band=423 IR			band=424 IR			band=425 IR		
sample	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)
108	479.536	4976.59	17.69	478.070	4986.06	18.12	461.991	4995.12	17.65	448.818	5004.54	17.29
109	2909.89	4974.01	14.57	2848.98	4983.51	14.76	2873.16	4992.78	14.42	2666.63	5002.23	14.82
110	4719.47	4973.16	13.65	4548.56	4982.74	13.68	4627.28	4992.07	13.45	4312.36	5001.50	13.83
111	5156.85	4973.07	13.42	5015.23	4982.67	13.52	5034.54	4992.00	13.28	4720.40	5001.46	13.59
112	5381.50	4973.13	13.35	5219.87	4982.69	13.55	5298.13	4992.03	13.34	4978.05	5001.45	13.69
113	5626.52	4973.19	13.44	5423.20	4982.76	13.62	5505.73	4992.06	13.32	5090.07	5001.50	13.66
114	5800.31	4973.25	13.42	5585.80	4982.84	13.52	5626.99	4992.14	13.31	5256.13	5001.59	13.67
115	5907.31	4973.28	13.45	5700.49	4982.88	13.51	5749.10	4992.19	13.39	5327.27	5001.67	13.69
116	6113.89	4973.35	13.50	5877.16	4982.94	13.61	5942.46	4992.23	13.40	5555.28	5001.69	13.74
117	6215.87	4973.44	13.49	5975.92	4983.03	13.60	6064.64	4992.32	13.41	5664.23	5001.79	13.75
118	6129.01	4973.44	13.52	5946.31	4983.04	13.56	5977.63	4992.35	13.41	5580.05	5001.78	13.75
119	6224.23	4973.47	13.61	5970.01	4983.08	13.67	6072.52	4992.36	13.50	5670.65	5001.81	13.80
120	6373.66	4973.59	13.63	6106.95	4983.16	13.74	6267.49	4992.47	13.50	5779.78	5001.91	13.85
121	6457.13	4973.59	13.52	6240.45	4983.19	13.71	6357.77	4992.50	13.53	5895.78	5001.97	13.79
122	6513.80	4973.63	13.64	6259.51	4983.21	13.79	6399.99	4992.51	13.53	5937.06	5001.96	13.91
123	6582.28	4973.68	13.63	6369.45	4983.24	13.75	6444.67	4992.55	13.59	5975.29	5002.02	13.94
124	6671.94	4973.70	13.65	6400.47	4983.24	13.82	6467.19	4992.56	13.62	6016.39	5002.00	13.97
125	6686.66	4973.75	13.68	6480.44	4983.32	13.84	6507.10	4992.60	13.67	6047.07	5002.06	14.06
126	6847.21	4973.80	13.69	6581.24	4983.36	13.81	6623.13	4992.65	13.60	6160.52	5002.10	13.99
127	6841.44	4973.86	13.66	6566.77	4983.43	13.89	6626.01	4992.71	13.68	6209.07	5002.17	14.02
128	6878.06	4973.86	13.70	6602.53	4983.43	13.89	6677.91	4992.70	13.67	6196.06	5002.15	14.08
129	6953.25	4973.88	13.76	6652.08	4983.45	13.91	6762.27	4992.73	13.63	6252.58	5002.19	14.05
130	7069.34	4973.92	13.70	6733.60	4983.47	13.93	6831.09	4992.77	13.66	6317.49	5002.24	14.08
131	7090.62	4973.90	13.64	6806.69	4983.47	13.95	6869.68	4992.77	13.62	6347.44	5002.24	14.07
132	7100.16	4973.93	13.83	6807.37	4983.46	13.94	6869.20	4992.76	13.85	6370.68	5002.22	14.07
133	7088.85	4973.92	13.66	6859.58	4983.47	13.90	6855.97	4992.74	13.74	6416.70	5002.21	14.05
134	7107.43	4973.94	13.83	6817.82	4983.47	13.95	6898.55	4992.77	13.83	6424.72	5002.23	14.04
135	7038.62	4973.90	13.74	6730.36	4983.47	13.89	6835.40	4992.75	13.76	6327.50	5002.21	14.06
136	6938.93	4973.94	13.72	6586.33	4983.51	13.91	6710.89	4992.77	13.75	6207.79	5002.23	14.04
137	6949.13	4973.93	13.77	6637.99	4983.47	13.85	6666.86	4992.71	13.70	6171.60	5002.20	14.08
138	6944.64	4973.92	13.84	6618.25	4983.40	13.83	6583.86	4992.67	13.74	6173.68	5002.16	14.12
139	6879.14	4973.80	13.80	6519.63	4983.34	13.91	6546.14	4992.67	13.84	6104.96	5002.12	14.20
140	6818.26	4973.78	13.83	6531.99	4983.35	13.85	6602.74	4992.69	13.71	6180.51	5002.09	14.07
141	6765.26	4973.79	13.75	6438.88	4983.41	13.81	6639.52	4992.63	13.67	6153.73	5002.02	14.14
142	6713.78	4973.74	13.56	6475.73	4983.36	13.67	6599.95	4992.57	13.58	6135.89	5001.98	14.08
143	6651.93	4973.77	13.62	6384.17	4983.38	13.71	6467.85	4992.64	13.60	6025.60	5002.02	14.03
144	6381.32	4973.54	13.66	6079.76	4983.07	13.78	6114.94	4992.42	13.66	5667.57	5001.87	13.97
145	6541.71	4973.54	13.57	6214.39	4983.03	13.80	6165.65	4992.36	13.70	5735.63	5001.86	14.14
146	6787.12	4973.52	13.67	6312.74	4982.96	13.66	6241.90	4992.28	13.71	5890.78	5001.76	14.14
147	6762.60	4973.36	13.62	6163.55	4982.80	13.74	6147.28	4992.30	13.66	5971.37	5001.64	14.03
148	6680.63	4973.23	13.62	6311.66	4982.80	13.77	6383.72	4992.12	13.67	5993.50	5001.53	13.99
149	6646.26	4973.14	13.42	6325.93	4982.77	13.77	6522.12	4992.02	13.53	5965.33	5001.47	14.01
150	6585.22	4973.04	13.17	6395.66	4982.68	13.74	6481.53	4991.93	13.49	5948.66	5001.34	13.99
151	6575.55	4972.95	13.32	6273.65	4982.58	13.69	6411.17	4991.83	13.43	5856.29	5001.26	13.98
152	6619.31	4972.84	13.50	6303.65	4982.48	13.68	6433.74	4991.74	13.40	5939.29	5001.18	13.89
153	6621.77	4972.73	13.43	6326.30	4982.35	13.69	6358.72	4991.62	13.16	5910.44	5001.05	13.88
154	6585.17	4972.60	13.36	6346.51	4982.22	13.61	6395.36	4991.50	13.29	5912.09	5000.93	13.79
155	6547.65	4972.47	13.42	6250.36	4982.09	13.60	6337.72	4991.37	13.33	5820.75	5000.81	13.55
156	6522.74	4972.32	13.35	6221.35	4981.93	13.59	6322.79	4991.20	13.33	5796.87	5000.65	13.72
157	6512.48	4972.18	13.34	6206.73	4981.79	13.53	6202.87	4991.05	13.22	5778.59	5000.49	13.69
158	6375.99	4972.00	13.23	6102.69	4981.60	13.50	6206.88	4990.88	13.25	5746.59	5000.29	13.62
159	6327.00	4971.90	13.23	6019.04	4981.49	13.41	6168.49	4990.76	13.18	5678.41	5000.16	13.60
160	6280.24	4971.75	13.20	6014.64	4981.32	13.35	6114.24	4990.62	13.09	5642.28	5000.02	13.56
161	6091.73	4971.59	13.03	5838.07	4981.16	13.22	5918.38	4990.48	12.97	5605.61	4999.87	13.37
162	5864.48	4971.42	12.96	5572.96	4980.97	13.15	5695.22	4990.31	12.95	5290.09	4999.67	13.35
163	4131.16	4971.59	12.97	3917.11	4981.22	13.17	3963.32	4990.56	12.92	3687.36	4999.89	13.38
164	642.781	4972.89	15.64	620.359	4982.87	15.85	613.608	4992.05	15.38	571.032	5001.36	16.03

Tabella D.8: Calibrazione spettrale VIRTIS-M-IR: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 5000 nm; intervallo spaziale sample=108÷164, intervallo spettrale bands=422÷425.

	band=426 IR			band=427 IR			band=428 IR		
sample	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)	A ₀ (DN)	A ₁ (nm)	A ₂ (nm)
108	392.172	5012.85	16.85	363.470	5023.74	17.50	398.448	5033.37	17.13
109	2652.95	5010.96	13.28	2202.04	5021.66	14.76	2477.34	5030.97	14.32
110	4376.64	5010.41	12.29	3452.18	5020.87	14.15	3944.53	5030.19	13.41
111	4789.67	5010.36	12.10	3729.68	5020.83	14.05	4278.73	5030.15	13.30
112	5051.32	5010.38	12.08	3922.06	5020.84	14.15	4486.31	5030.19	13.30
113	4972.83	5010.31	12.02	3997.54	5021.00	14.15	4670.20	5030.26	13.31
114	4858.56	5010.22	12.15	4083.37	5021.23	13.84	4773.63	5030.32	13.33
115	5481.84	5010.57	12.16	4208.62	5021.00	14.34	4876.44	5030.38	13.37
116	5647.25	5010.61	12.16	4358.06	5021.04	14.43	4991.62	5030.43	13.41
117	5704.34	5010.70	12.21	4388.82	5021.18	14.36	5124.83	5030.53	13.40
118	5722.33	5010.74	12.15	4366.31	5021.19	14.54	5097.73	5030.53	13.37
119	5773.98	5010.74	12.23	4352.03	5021.22	14.71	5115.48	5030.55	13.36
120	5918.80	5010.84	12.24	4442.97	5021.32	14.71	5291.34	5030.66	13.34
121	6042.27	5010.89	12.19	4517.73	5021.38	14.77	5414.21	5030.70	13.30
122	6088.02	5010.92	12.25	4528.08	5021.40	14.92	5435.16	5030.74	13.35
123	6130.37	5010.94	12.30	4570.87	5021.46	14.92	5483.80	5030.76	13.34
124	6162.76	5010.95	12.28	4585.39	5021.42	15.05	5557.51	5030.76	13.33
125	6222.84	5011.02	12.35	4622.07	5021.49	15.10	5587.87	5030.81	13.43
126	6348.20	5011.05	12.29	4763.28	5021.55	14.99	5731.81	5030.84	13.35
127	6334.52	5011.09	12.34	4755.95	5021.58	15.07	5755.23	5030.90	13.39
128	6340.09	5011.08	12.41	4716.86	5021.52	15.19	5752.17	5030.86	13.44
129	6435.00	5011.10	12.39	4789.32	5021.55	15.21	5783.67	5030.86	13.47
130	6470.17	5011.15	12.43	4833.53	5021.58	15.17	5830.34	5030.87	13.50
131	6513.80	5011.16	12.42	4930.51	5021.58	15.14	5880.03	5030.86	13.51
132	6576.97	5011.15	12.46	4876.91	5021.55	15.29	5921.68	5030.85	13.58
133	6499.14	5011.14	12.47	4917.61	5021.55	15.19	5883.35	5030.84	13.56
134	6523.59	5011.17	12.45	4920.45	5021.56	15.20	5884.97	5030.88	13.58
135	6371.11	5011.14	12.46	4860.68	5021.54	15.19	5819.02	5030.88	13.55
136	6286.25	5011.16	12.44	4743.53	5021.58	15.15	5745.54	5030.91	13.52
137	6310.73	5011.13	12.45	4817.15	5021.55	15.17	5783.88	5030.89	13.56
138	6351.70	5011.13	12.47	4814.12	5021.51	15.26	5830.28	5030.87	13.57
139	6330.70	5011.07	12.51	4729.61	5021.42	15.37	5765.45	5030.81	13.55
140	6368.21	5011.01	12.44	4759.99	5021.41	15.32	5771.68	5030.77	13.48
141	6291.94	5011.01	12.44	4649.19	5021.37	15.40	5575.32	5030.64	13.43
142	6273.33	5011.02	12.33	4598.61	5021.32	15.33	5316.22	5030.51	13.43
143	6223.09	5010.99	12.33	4574.59	5021.37	15.30	5298.37	5030.59	13.34
144	5947.36	5010.83	12.30	4366.28	5021.11	15.50	5363.12	5030.52	13.39
145	6020.13	5010.86	12.30	4421.86	5021.12	15.49	5442.70	5030.53	13.35
146	6158.54	5010.79	12.29	4525.06	5021.08	15.45	5540.31	5030.50	13.32
147	6161.84	5010.64	12.32	4465.45	5020.91	15.50	5540.34	5030.37	13.32
148	6153.15	5010.55	12.27	4450.81	5020.79	15.52	5519.53	5030.29	13.32
149	6168.67	5010.48	12.29	4456.70	5020.68	15.46	5508.22	5030.20	13.29
150	6109.85	5010.40	12.28	4445.00	5020.58	15.44	5443.38	5030.08	13.32
151	6095.27	5010.32	12.28	4422.36	5020.48	15.32	5368.18	5029.99	13.31
152	6120.64	5010.26	12.24	4456.79	5020.36	15.30	5405.80	5029.90	13.34
153	6080.76	5010.12	12.29	4459.18	5020.21	15.27	5345.82	5029.80	13.40
154	6078.75	5010.03	12.29	4443.42	5020.06	15.16	5325.08	5029.70	13.40
155	6064.37	5009.90	12.29	4478.53	5019.91	15.03	5252.98	5029.55	13.46
156	5996.69	5009.77	12.28	4451.80	5019.75	15.02	5205.32	5029.38	13.51
157	5939.80	5009.65	12.37	4400.11	5019.60	14.94	5121.66	5029.22	13.59
158	5839.73	5009.49	12.35	4392.35	5019.39	14.83	5037.71	5029.07	13.54
159	5684.06	5009.30	12.27	-8.37276	4924.66	1.36	4957.89	5028.95	13.52
160	5653.86	5009.13	12.22	4.89551	5009.57	8.45	4910.59	5028.78	13.43
161	5714.44	5009.11	12.17	4252.22	5018.99	14.61	4844.50	5028.59	13.34
162	5446.86	5008.95	12.19	4094.42	5018.79	14.60	4645.37	5028.40	13.32
163	3741.05	5009.14	12.24	2789.61	5019.08	14.68	3173.01	5028.66	13.24
164	555.013	5010.39	13.99	451.020	5020.63	16.45	507.347	5030.42	14.58

Tabella D.9: Calibrazione spettrale VIRTIS-M-IR: risultati dei fit gaussiani per scansione attorno a 5000 nm; intervallo spaziale sample=108÷164, intervallo spettrale bands=426÷428.

band	$\lambda_c^{VIS}(b)$ (nm)	$\lambda_c^{IR}(b)$ (nm)	band	$\lambda_c^{VIS}(b)$ (nm)	$\lambda_c^{IR}(b)$ (nm)	band	$\lambda_c^{VIS}(b)$ (nm)	$\lambda_c^{IR}(b)$ (nm)	band	$\lambda_c^{VIS}(b)$ (nm)	$\lambda_c^{IR}(b)$ (nm)
0	231.296	1000.39	56	336.773	1528.86	112	442.250	2057.33	168	547.726	2585.79
1	233.180	1009.83	57	338.657	1538.30	113	444.133	2066.76	169	549.610	2595.23
2	235.064	1019.27	58	340.540	1547.73	114	446.017	2076.20	170	551.493	2604.67
3	236.947	1028.70	59	342.424	1557.17	115	447.900	2085.64	171	553.377	2614.10
4	238.831	1038.14	60	344.307	1566.61	116	449.784	2095.07	172	555.260	2623.54
5	240.714	1047.58	61	346.191	1576.04	117	451.667	2104.51	173	557.144	2632.98
6	242.598	1057.02	62	348.074	1585.48	118	453.551	2113.95	174	559.027	2642.41
7	244.481	1066.45	63	349.958	1594.92	119	455.434	2123.38	175	560.911	2651.85
8	246.365	1075.89	64	351.841	1604.36	120	457.318	2132.82	176	562.794	2661.29
9	248.248	1085.33	65	353.725	1613.79	121	459.201	2142.26	177	564.678	2670.72
10	250.132	1094.76	66	355.608	1623.23	122	461.085	2151.70	178	566.561	2680.16
11	252.015	1104.20	67	357.492	1632.67	123	462.968	2161.13	179	568.445	2689.60
12	253.899	1113.64	68	359.375	1642.10	124	464.852	2170.57	180	570.328	2699.03
13	255.782	1123.07	69	361.259	1651.54	125	466.735	2180.01	181	572.212	2708.47
14	257.666	1132.51	70	363.142	1660.98	126	468.619	2189.44	182	574.095	2717.91
15	259.549	1141.95	71	365.026	1670.41	127	470.502	2198.88	183	575.979	2727.35
16	261.433	1151.38	72	366.909	1679.85	128	472.386	2208.32	184	577.862	2736.78
17	263.316	1160.82	73	368.793	1689.29	129	474.269	2217.75	185	579.746	2746.22
18	265.200	1170.26	74	370.676	1698.72	130	476.153	2227.19	186	581.629	2755.66
19	267.083	1179.70	75	372.560	1708.16	131	478.036	2236.63	187	583.513	2765.09
20	268.967	1189.13	76	374.443	1717.60	132	479.920	2246.06	188	585.396	2774.53
21	270.850	1198.57	77	376.327	1727.03	133	481.803	2255.50	189	587.280	2783.97
22	272.734	1208.01	78	378.210	1736.47	134	483.687	2264.94	190	589.163	2793.40
23	274.617	1217.44	79	380.094	1745.91	135	485.570	2274.37	191	591.047	2802.84
24	276.501	1226.88	80	381.977	1755.35	136	487.454	2283.81	192	592.930	2812.28
25	278.384	1236.32	81	383.861	1764.78	137	489.337	2293.25	193	594.814	2821.71
26	280.268	1245.75	82	385.744	1774.22	138	491.221	2302.69	194	596.697	2831.15
27	282.151	1255.19	83	387.628	1783.66	139	493.104	2312.12	195	598.581	2840.59
28	284.035	1264.63	84	389.511	1793.09	140	494.988	2321.56	196	600.464	2850.02
29	285.918	1274.06	85	391.395	1802.53	141	496.871	2331.00	197	602.348	2859.46
30	287.802	1283.50	86	393.278	1811.97	142	498.755	2340.43	198	604.232	2868.90
31	289.685	1292.94	87	395.162	1821.40	143	500.638	2349.87	199	606.115	2878.34
32	291.569	1302.37	88	397.045	1830.84	144	502.522	2359.31	200	607.999	2887.77
33	293.452	1311.81	89	398.929	1840.28	145	504.405	2368.74	201	609.882	2897.21
34	295.336	1321.25	90	400.812	1849.71	146	506.289	2378.18	202	611.766	2906.65
35	297.219	1330.69	91	402.696	1859.15	147	508.172	2387.63	203	613.649	2916.08
36	299.103	1340.12	92	404.579	1868.59	148	510.056	2397.05	204	615.533	2925.52
37	300.986	1349.56	93	406.463	1878.03	149	511.940	2406.49	205	617.416	2934.96
38	302.870	1359.00	94	408.346	1887.46	150	513.823	2415.93	206	619.300	2944.39
39	304.753	1368.43	95	410.230	1896.90	151	515.707	2425.36	207	621.183	2953.83
40	306.637	1377.87	96	412.113	1906.34	152	517.590	2434.80	208	623.067	2963.27
41	308.520	1387.31	97	413.997	1915.77	153	519.474	2444.24	209	624.950	2972.70
42	310.404	1396.74	98	415.880	1925.21	154	521.357	2453.68	210	626.834	2982.14
43	312.287	1406.18	99	417.764	1934.65	155	523.241	2463.11	211	628.717	2991.58
44	314.171	1415.62	100	419.648	1944.08	156	525.124	2472.55	212	630.601	3001.02
45	316.054	1425.05	101	421.531	1953.52	157	527.008	2481.99	213	632.484	3010.45
46	317.938	1434.49	102	423.415	1962.96	158	528.891	2491.42	214	634.368	3019.89
47	319.821	1443.93	103	425.298	1972.39	159	530.775	2500.86	215	636.251	3029.33
48	321.705	1453.36	104	427.182	1981.83	160	532.658	2510.30	216	638.135	3038.76
49	323.589	1462.80	105	429.065	1991.27	161	534.542	2519.73	217	640.018	3048.20
50	325.472	1472.24	106	430.949	2000.70	162	536.425	2529.17	218	641.902	3057.64
51	327.356	1481.68	107	432.832	2010.14	163	538.309	2538.61	219	643.785	3067.07
52	329.239	1491.11	108	434.716	2019.58	164	540.192	2548.04	220	645.669	3076.51
53	331.123	1500.55	109	436.599	2029.02	165	542.076	2557.48	221	647.552	3085.95
54	333.006	1509.99	110	438.483	2038.45	166	543.959	2566.92	222	649.436	3095.38
55	334.890	1519.42	111	440.366	2047.89	167	545.843	2576.35	223	651.319	3104.82

segue alla pagina successiva

Tabella D.10: *Tabella di calibrazione spettrale dei canali VIS ed IR di VIRTIS-M: bands=0 ÷ 223.*

continua dalla pagina precedente											
band	$\lambda_c^{VIS}(b)$ (nm)	$\lambda_c^{IR}(b)$ (nm)	band	$\lambda_c^{VIS}(b)$ (nm)	$\lambda_c^{IR}(b)$ (nm)	band	$\lambda_c^{VIS}(b)$ (nm)	$\lambda_c^{IR}(b)$ (nm)	band	$\lambda_c^{VIS}(b)$ (nm)	$\lambda_c^{IR}(b)$ (nm)
224	653.203	3114.26	280	758.679	3642.72	336	864.156	4171.19	392	969.632	4699.66
225	655.086	3123.69	281	760.563	3652.16	337	866.039	4180.63	393	971.516	4709.09
226	656.970	3133.13	282	762.446	3661.60	338	867.923	4190.06	394	973.399	4718.53
227	658.853	3142.57	283	764.330	3671.03	339	869.806	4199.50	395	975.283	4727.97
228	660.737	3152.01	284	766.213	3680.47	340	871.690	4208.94	396	977.167	4737.40
229	662.620	3161.44	285	768.097	3689.91	341	873.573	4218.37	397	979.050	4746.84
230	664.504	3170.88	286	769.980	3699.35	342	875.457	4227.81	398	980.934	4756.28
231	666.387	3180.32	287	771.864	3708.78	343	877.340	4237.25	399	982.817	4765.71
232	668.271	3189.75	288	773.747	3718.22	344	879.224	4246.68	400	984.701	4775.15
233	670.154	3199.19	289	775.631	3727.66	345	881.107	4256.12	401	986.584	4784.59
234	672.038	3208.63	290	777.514	3737.09	346	882.991	4265.56	402	988.468	4794.02
235	673.921	3218.06	291	779.398	3746.53	347	884.875	4275.00	403	990.351	4803.46
236	675.805	3227.50	292	781.281	3755.97	348	886.758	4284.43	404	992.235	4812.90
237	677.688	3236.94	293	783.165	3765.40	349	888.641	4293.87	405	994.118	4822.33
238	679.572	3246.37	294	785.048	3774.84	350	890.525	4303.31	406	996.002	4831.77
239	681.455	3255.81	295	786.932	3784.28	351	892.409	4312.74	407	997.885	4841.21
240	683.339	3265.25	296	788.815	3793.71	352	894.292	4322.18	408	999.769	4850.65
241	685.222	3274.69	297	790.699	3803.15	353	896.176	4331.62	409	1001.65	4860.08
242	687.106	3284.12	298	792.583	3812.59	354	898.059	4341.05	410	1003.54	4869.53
243	688.989	3293.56	299	794.466	3822.02	355	899.943	4350.49	411	1005.42	4878.96
244	690.873	3303.00	300	796.350	3831.46	356	901.826	4359.93	412	1007.30	4888.39
245	692.756	3312.43	301	798.233	3840.90	357	903.710	4369.36	413	1009.19	4897.83
246	694.640	3321.87	302	800.117	3850.34	358	905.593	4378.80	414	1011.07	4907.27
247	696.523	3331.31	303	802.000	3859.77	359	907.477	4388.24	415	1012.95	4916.70
248	698.407	3340.74	304	803.884	3869.21	360	909.360	4397.68	416	1014.84	4926.14
249	700.291	3350.18	305	805.767	3878.65	361	911.244	4407.11	417	1016.72	4935.58
250	702.174	3359.62	306	807.651	3888.08	362	913.127	4416.55	418	1018.60	4945.01
251	704.058	3369.05	307	809.534	3897.52	363	915.011	4425.99	419	1020.49	4954.45
252	705.941	3378.49	308	811.418	3906.96	364	916.894	4435.42	420	1022.37	4963.89
253	707.825	3387.93	309	813.301	3916.39	365	918.778	4444.86	421	1024.25	4973.33
254	709.708	3397.36	310	815.185	3925.83	366	920.661	4454.30	422	1026.14	4982.76
255	711.592	3406.80	311	817.068	3935.27	367	922.545	4463.73	423	1028.02	4992.20
256	713.475	3416.24	312	818.952	3944.70	368	924.428	4473.17	424	1029.90	5001.64
257	715.359	3425.68	313	820.835	3954.14	369	926.312	4482.61	425	1031.79	5011.07
258	717.242	3435.11	314	822.719	3963.58	370	928.195	4492.04	426	1033.67	5020.51
259	719.126	3444.55	315	824.602	3973.01	371	930.079	4501.48	427	1035.56	5029.95
260	721.009	3453.99	316	826.486	3982.45	372	931.962	4510.92	428	1037.44	5039.38
261	722.893	3463.42	317	828.369	3991.89	373	933.846	4520.35	429	1039.32	5048.82
262	724.776	3472.86	318	830.253	4001.33	374	935.729	4529.79	430	1041.21	5058.26
263	726.660	3482.30	319	832.136	4010.76	375	937.613	4539.23	431	1043.09	5067.69
264	728.543	3491.73	320	834.020	4020.20	376	939.496	4548.67			
265	730.427	3501.17	321	835.903	4029.64	377	941.380	4558.10			
266	732.310	3510.61	322	837.787	4039.07	378	943.263	4567.54			
267	734.194	3520.04	323	839.670	4048.51	379	945.147	4576.98			
268	736.077	3529.48	324	841.554	4057.95	380	947.030	4586.41			
269	737.961	3538.92	325	843.437	4067.38	381	948.914	4595.85			
270	739.844	3548.35	326	845.321	4076.82	382	950.797	4605.29			
271	741.728	3557.79	327	847.204	4086.26	383	952.681	4614.72			
272	743.611	3567.23	328	849.088	4095.69	384	954.564	4624.16			
273	745.495	3576.67	329	850.971	4105.13	385	956.448	4633.60			
274	747.378	3586.10	330	852.855	4114.57	386	958.331	4643.03			
275	749.262	3595.54	331	854.738	4124.01	387	960.215	4652.47			
276	751.145	3604.98	332	856.622	4133.44	388	962.098	4661.91			
277	753.029	3614.41	333	858.505	4142.88	389	963.982	4671.34			
278	754.912	3623.85	334	860.389	4152.32	390	965.865	4680.78			
279	756.796	3633.29	335	862.272	4161.75	391	967.749	4690.22			

Tabella D.11: *Tabella di calibrazione spettrale dei canali VIS ed IR di VIRTIS-M: bands=224 ÷ 431.*

posizione di scan	sample	band=76 VIS			band=77 VIS		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	121	1118.3126	269.94876	80.574791	1220.1903	283.66348	89.528770
B	122	1126.4792	259.67813	194.90845	1227.1737	278.71332	216.45837
B	123	1124.0563	260.09140	191.88371	1223.9795	281.17899	211.38571
B	124	1123.6748	257.58078	187.18111	1221.6259	276.25269	207.35741
B	125	1118.9744	262.22003	174.91940	1218.3318	283.24847	189.95810
B	126	1119.2147	259.97165	180.82492	1216.2554	279.38599	196.80574
B	127	1118.5846	257.11334	182.98685	1215.4572	280.96362	199.85886
B	128	1115.2476	258.69501	176.96405	1214.4835	277.57541	192.69534
B	129	1110.4980	263.13724	175.89268	1211.5460	280.41748	185.39914
B	130	1107.4594	262.51364	173.02550	1208.7759	278.87051	180.81845
B	131	1108.7466	261.17090	171.82019	1204.9811	279.02094	180.29729
B	132	1105.8409	262.47284	164.08061	1205.7539	275.59338	174.48253
B	133	1110.8710	265.42764	50.897606	1207.2179	274.88647	58.158077
G	33	1121.4625	444.40524	3.5801446	1185.2695	434.14355	6.1878915
G	34	1153.4763	262.71680	87.713249	1226.0895	296.56180	143.52620
G	35	1144.0325	261.83722	137.64409	1217.4236	298.30380	213.82567
G	36	1123.4554	267.43906	134.26205	1196.6354	299.31601	210.88501
G	37	1103.1533	265.89246	128.74034	1171.5953	301.47626	203.81886
G	38	1079.3940	266.94415	128.27730	1150.0018	299.06534	202.96555
G	39	1061.4601	261.73080	132.60289	1130.4835	297.89905	203.52014
G	40	1038.9307	263.82568	132.33389	1108.4937	297.35062	204.44489
G	41	1019.7090	266.48907	125.63110	1088.4238	302.98605	195.10202
G	42	992.42993	263.76523	135.09517	1066.2264	300.91800	205.54190
G	43	972.46545	263.87149	142.48222	1045.3483	293.60657	216.70264
G	44	951.23340	263.41245	149.43510	1026.9943	297.52304	224.36568
G	45	931.49512	264.39212	142.09163	1007.6924	296.35147	216.58188
F	211	1007.4227	280.75812	141.83072	1113.7699	290.15100	61.014851
F	212	1017.2626	276.85614	309.57928	1125.8036	287.12335	136.12486
F	213	1022.5732	279.43329	304.05890	1130.0936	289.21094	139.20845
F	214	1029.7687	282.07370	292.78030	1139.5140	287.16000	131.99632
F	215	1035.9944	280.63882	280.90366	1143.5972	288.56860	126.03314
F	216	1041.4670	282.97852	289.06314	1149.6802	285.96359	126.84505
F	217	1050.6420	285.17468	296.56833	1160.0011	292.23199	128.30444
F	218	1058.6124	285.84454	280.34076	1166.2571	291.10327	121.10849
F	219	1064.5829	285.24023	271.17972	1171.1923	285.06006	115.85154
F	220	1069.8291	285.31577	264.19409	1177.7430	286.78952	110.22231
F	221	1076.7780	286.89395	266.04175	1183.7687	291.67700	107.60431
F	222	1086.0005	283.95981	248.31187	1192.8169	298.22208	97.036697
F	223	1093.4325	282.17807	53.358253	1192.3108	288.15338	24.969913

Tabella D.12: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga a (bands = 76÷77 VIS, posizioni boresight, G, F).

posizione di scan	sample	band=97 VIS			band=98 VIS		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	121	1106.2500	257.26352	42.921738	1204.7858	257.15524	39.870712
B	122	1112.5419	238.36577	252.29076	1222.1287	237.26219	224.19800
B	123	1111.2556	234.60767	261.45804	1220.6979	236.97452	225.55481
B	124	1110.1067	233.61597	255.93224	1218.8878	240.64462	223.18318
B	125	1106.6499	235.11685	237.16518	1214.6931	240.44418	205.75836
B	126	1106.3280	235.58493	244.63431	1212.9827	237.29921	215.47960
B	127	1106.0797	238.01489	246.53064	1212.0322	237.41092	215.08168
B	128	1103.7959	236.07567	239.85512	1212.2493	236.10201	209.40294
B	129	1100.0317	238.00977	237.34401	1209.0474	236.78883	202.48854
B	130	1096.2546	240.49188	226.13647	1204.9421	235.00485	194.95628
B	131	1094.8655	236.58731	235.50021	1203.4425	238.06648	191.06842
B	132	1094.9581	237.06097	223.90938	1201.9077	237.10147	186.25023
B	133	1099.8350	240.10423	120.21838	1200.8177	239.57681	102.03058
G	33	937.84229	66.870575	3.6511786	1078.9633	467.80197	4.2688489
G	34	1133.6436	236.77309	75.398506	1221.9821	250.32364	104.54417
G	35	1126.3113	238.09102	200.48181	1217.1788	248.46878	254.60527
G	36	1105.3766	237.33121	202.69786	1194.5386	248.25111	257.11606
G	37	1085.7786	237.23276	201.07414	1173.7789	247.87263	258.58121
G	38	1063.4677	235.63918	200.80896	1153.2383	248.12314	257.07159
G	39	1044.8231	232.94885	208.64372	1134.3136	246.91560	257.79468
G	40	1023.0153	236.44420	201.89922	1111.9657	247.78059	253.72714
G	41	1005.0550	239.00656	196.76810	1092.3097	248.33237	248.86153
G	42	982.03882	238.60910	203.26733	1072.4359	248.79947	252.50740
G	43	962.04620	237.94142	203.85931	1051.5397	247.71103	251.97461
G	44	941.81866	233.95729	214.74615	1033.4794	244.84544	265.14743
G	45	919.25903	241.05681	215.87465	1010.7125	246.99854	269.55231
F	211	1000.6936	261.76187	72.719040	1108.4326	283.86444	24.675797
F	212	1006.9385	257.69809	339.49725	1120.7273	271.29984	104.14323
F	213	1012.7052	260.02640	338.60480	1127.6960	267.77847	111.23150
F	214	1018.6583	262.49896	330.63309	1132.3914	271.51743	105.77553
F	215	1026.1520	260.44363	314.39694	1138.2894	276.58698	99.688683
F	216	1031.4655	260.25208	323.11578	1145.2786	271.25079	101.09513
F	217	1039.2859	262.59039	331.56110	1151.2981	274.40414	102.64954
F	218	1048.2019	266.17874	317.32327	1158.1732	282.84702	95.074097
F	219	1053.5061	266.36777	300.77850	1160.9131	278.28082	91.151199
F	220	1060.6659	266.31577	294.20322	1170.1990	274.81641	89.187431
F	221	1066.5201	268.14249	297.47949	1174.4791	286.40347	85.958076
F	222	1075.4172	268.38580	287.05582	1179.9000	288.70975	80.500778
F	223	1083.1300	273.90439	123.46557	1176.6196	313.79144	37.876987

Tabella D.13: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga b (bands = 97÷98 VIS), posizioni boresight, G, F.

posizione di scan	sample	band=113 VIS			band=114 VIS			band=115 VIS		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	121	1036.4094	347.71945	17.346354	1053.7812	517.60754	62.409946	1021.2009	505.13736	28.188337
B	122	1060.3459	244.27721	147.37361	1155.7715	271.91095	951.45996	1229.9105	323.95563	109.35681
B	123	1059.6132	250.09894	168.97969	1155.0408	268.73001	1077.7893	1235.1180	302.80914	127.84629
B	124	1058.0317	252.49133	163.04851	1153.6425	268.32364	1066.9043	1235.3768	292.24771	128.08066
B	125	1054.9066	254.97931	156.59048	1150.3864	269.23068	996.17401	1225.7501	309.59424	117.95596
B	126	1054.1929	252.41609	157.94739	1148.0449	268.53885	1009.6750	1224.2241	304.46472	120.07782
B	127	1054.6417	250.62335	158.31012	1147.9730	266.83035	1039.6721	1224.5879	304.36099	119.00493
B	128	1051.1975	254.70544	154.38435	1146.5079	267.48782	1002.5400	1219.8854	307.68939	113.81378
B	129	1047.6927	250.00569	159.75450	1144.2886	267.27570	985.10120	1217.4955	315.06274	111.75452
B	130	1044.1670	252.18044	163.12367	1141.9629	268.43521	967.11737	1218.8345	308.36072	110.17066
B	131	1041.7709	246.75578	163.89461	1139.6697	267.78726	960.89368	1220.0128	302.33743	105.87624
B	132	1042.6538	249.82368	153.06569	1139.2808	265.43277	937.58685	1225.2850	276.03918	104.14437
B	133	1046.9047	257.41568	105.72437	1141.7960	262.06763	695.36884	1223.3889	281.23428	77.276367
G	33	1043.9415	439.34308	6.5078015	959.33197	446.83118	22.915997	973.18262	255.12630	57.350117
G	34	1083.3783	255.52139	26.481461	1158.7036	270.04019	211.39760	1109.7841	525.84955	71.260979
G	35	1101.9320	249.63855	94.376099	1165.4409	263.04025	1030.4678	1234.5851	251.22450	235.77673
G	36	1083.4404	250.11758	103.54147	1143.3112	262.20892	1081.5259	1214.2072	253.24292	246.84189
G	37	1064.9095	247.94191	101.73048	1123.7860	261.60468	1060.9115	1194.2760	252.71735	242.48112
G	38	1043.5615	245.73802	101.39042	1102.1788	262.49890	1059.4177	1173.4921	253.87334	244.33975
G	39	1024.1764	247.89702	102.19935	1082.7389	260.97034	1078.0192	1152.1859	258.16269	237.54372
G	40	1005.0087	248.91483	102.06318	1061.3123	262.81006	1055.5632	1130.0605	261.49942	232.52148
G	41	981.45520	254.38570	101.58217	1040.9028	261.85474	1056.1238	1107.6134	264.16351	228.11385
G	42	962.13306	256.02283	105.31105	1020.3165	265.27011	1045.9261	1089.5308	262.47208	228.03659
G	43	940.21820	245.02571	106.16924	999.24048	262.79385	1044.9854	1069.1854	262.75244	226.78763
G	44	921.89929	246.26834	108.95714	981.45026	263.54025	1089.4240	1053.8263	252.19083	240.77069
G	45	902.82697	243.53815	107.94672	960.02679	262.78506	1134.8939	1038.5947	239.56725	253.39014
F	211	903.63165	327.23407	47.285233	944.88196	563.77032	76.080185	963.42365	710.09210	14.872993
F	212	929.72882	253.56165	435.60828	1055.3794	269.07404	838.82996	1079.4220	505.45190	36.434792
F	213	937.22247	250.95766	481.47379	1062.7253	267.47235	935.30048	1118.2544	412.68848	44.840630
F	214	941.77155	250.40228	486.75385	1068.3466	268.30832	922.36243	1111.6448	436.76761	44.772171
F	215	949.36755	251.62837	461.19205	1075.7076	268.93173	869.00623	1119.7960	426.81882	44.716652
F	216	953.55750	252.27180	472.27402	1081.3831	269.94397	869.77338	1127.3553	429.80560	43.782608
F	217	959.93262	252.59395	485.94492	1089.2896	270.76221	876.54089	1131.1498	435.96909	43.358257
F	218	968.22485	254.75880	478.09772	1098.0497	271.09601	856.07056	1137.3693	440.55032	42.562500
F	219	974.61792	253.41667	453.92529	1102.1761	272.06647	818.47675	1138.5850	452.63812	40.398645
F	220	979.49750	254.15259	456.23346	1108.9681	272.83865	803.33508	1147.9003	436.35349	39.452057
F	221	986.85486	251.94931	464.60773	1117.5262	269.28494	801.46741	1169.1681	380.57535	37.778316
F	222	994.73907	251.35504	448.46567	1124.9805	270.45865	764.95581	1180.6188	368.51953	36.188717
F	223	1002.3129	252.86102	276.84995	1131.4905	270.18616	483.22723	1167.8651	392.70596	24.776733

Tabella D.14: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga c (bands = 113÷115 VIS), posizioni boresight,

posizione di scan	sample	band=171 VIS			band=172 VIS			band=173 VIS			band=174 VIS		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	121	971.02728	378.58533	9.8011818	927.64771	432.21112	38.489471	1051.7969	464.64569	20.521702	1120.6284	405.67950	5.7342777
B	122	937.72821	343.52316	26.209576	1031.5271	353.74463	193.62933	1192.9410	382.90466	270.53668	1197.8986	499.32733	17.263822
B	123	925.29364	329.68549	46.189316	1051.9586	397.89972	514.8059	1238.9233	395.67236	1433.6995	1234.3746	502.54480	33.898212
B	124	929.41302	325.37735	50.983685	1050.9039	389.67950	2072.0518	1237.2227	374.34601	1549.1735	1267.7740	410.89542	40.572598
B	125	934.75946	338.76453	50.335361	1050.9030	391.64359	2038.3734	1236.7542	375.71387	1543.0636	1267.2727	405.65771	42.082680
B	126	928.50952	337.61887	50.490685	1046.9170	389.76022	1932.2194	1233.8033	373.04663	1454.5741	1263.8689	394.36069	42.146053
B	127	934.43768	338.76941	50.742531	1046.4698	390.29712	1954.6606	1232.7366	374.24869	1463.9237	1263.8148	420.16849	41.532738
B	128	924.71381	326.47116	51.006069	1045.1262	390.22107	1946.9005	1233.7001	368.85321	1468.2479	1258.3663	409.63431	42.039639
B	129	927.86334	333.62375	51.030369	1044.8621	390.71451	1896.3125	1233.6342	368.40991	1425.4382	1256.3374	386.17093	42.786877
B	130	913.70447	331.91406	50.751766	1038.7437	389.80502	1927.8721	1229.1986	370.15665	1399.1350	1251.5214	418.56183	41.496494
B	131	909.52368	325.41299	51.319160	1035.9237	389.40570	1931.9669	1227.1060	367.94281	1387.9569	1249.5387	399.90860	40.757133
B	132	917.13977	318.65509	47.895489	1035.7406	387.56418	1929.2230	1226.5826	366.28906	1382.2727	1254.5790	369.80948	39.212387
B	133	912.87805	315.66232	39.419132	1036.0996	388.50180	1797.7045	1227.9343	361.72769	1303.1780	1249.3323	435.66010	35.274418
G	33	1013.4888	377.11536	6.2636867	955.88660	355.40527	27.083359	1016.3139	268.81116	33.016010	1067.6267	398.40091	8.4771147
G	34	1013.8558	261.12225	13.061818	1002.7488	423.66849	42.237602	1044.6740	372.87784	39.685383	1090.6399	421.07559	10.202135
G	35	993.63977	279.16949	27.089548	1069.5984	336.85172	761.25427	1167.6646	352.35406	815.56952	1174.1387	448.91483	30.994619
G	36	996.76984	336.35205	36.422745	1094.1475	368.29871	1829.4847	1203.5929	357.08075	2051.5203	1215.1443	471.95126	47.551689
G	37	985.60193	313.39258	39.708290	1073.1200	366.15833	1879.8018	1182.2610	382.69601	2103.8220	1211.8770	466.66599	54.611782
G	38	973.74609	328.32080	39.049848	1054.2944	366.27863	1805.9899	1163.1466	382.68466	2031.1487	1195.1062	465.78665	55.188820
G	39	949.06464	338.32343	39.520962	1030.8756	367.47501	1776.8508	1140.5466	382.78790	1986.7935	1175.0009	453.03119	54.976425
G	40	936.66614	340.52298	39.818832	1012.0135	366.36801	1780.1179	1123.4641	381.13089	1961.1979	1164.1447	457.25034	55.719097
G	41	910.19678	337.82263	39.222023	987.39948	369.21771	1780.0317	1099.2848	384.89734	1936.1632	1138.7831	442.13019	54.743427
G	42	886.97406	322.47653	39.659378	967.52222	370.23560	1761.1383	1080.4019	385.34280	1917.7987	1118.4277	448.45694	55.896172
G	43	871.82312	345.13297	38.796509	943.86884	371.42392	1762.5453	1057.3409	388.26056	1886.7888	1102.7726	454.30292	54.238396
G	44	849.22552	336.28665	38.021164	923.46674	367.09161	1727.7153	1038.3872	381.50360	1837.0125	1084.7101	428.38617	52.649845
G	45	839.20752	352.26465	33.541416	906.89832	364.87830	1753.6517	1021.0805	381.77505	1849.4163	1073.9200	408.41296	51.467190
F	211	716.00403	513.95758	21.847153	828.05328	478.28818	43.667332	1029.6393	491.22385	17.108812	1090.4692	599.91406	6.5019650
F	212	720.13794	314.73224	92.761673	949.90503	384.59381	877.79163	1188.5435	200.81361	33.69565	1113.8635	502.02429	16.833399
F	213	700.07806	248.05257	273.14935	951.09552	427.65967	2848.5242	1216.8711	194.30887	1265.1996	1136.3549	488.51718	28.028273
F	214	715.13110	257.47079	289.60291	959.53198	418.63089	2986.5095	1219.5511	201.31099	1294.9283	1178.5286	336.93307	33.071999
F	215	719.29297	257.08252	297.55246	966.28845	420.54944	2970.6587	1226.2778	201.91341	1276.1018	1184.1807	318.04877	35.537697
F	216	727.63324	261.97549	287.64261	975.09119	420.15433	2855.9102	1232.8253	201.05037	1225.8610	1185.1908	321.07236	35.432323
F	217	730.94519	254.64529	307.53293	979.86212	424.59003	2856.3254	1240.3929	202.73245	1206.5808	1188.3893	353.82678	35.786781
F	218	738.38409	254.89894	321.50204	989.91895	425.28018	2916.9160	1249.8517	204.31635	1216.8779	1190.8260	409.79999	33.246758
F	219	745.07324	255.36084	312.11871	996.97534	427.32782	2808.6370	1257.3330	203.28815	1157.5114	1199.8480	383.37848	32.877346
F	220	750.86536	253.92780	302.87158	1000.2173	427.43716	2670.0815	1262.5106	203.85364	1076.3600	1213.0219	329.00116	33.421684
F	221	754.17889	250.00955	310.67343	1008.0341	426.93173	2660.5059	1270.7922	204.32649	1044.1611	1210.7933	368.35623	31.197771
F	222	761.43512	239.43056	312.93283	1018.3423	428.31058	2654.8306	1278.4730	203.56421	1024.8998	1216.2373	386.67410	29.461723
F	223	767.47046	233.26906	297.79095	1025.0593	433.20535	2483.1216	1290.1453	204.41403	943.57928	1219.6245	422.56277	25.352701

Tabella D.15: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga d (bands = 171÷174 VIS), posizioni boresight, G, F.

posizione di scan	sample	band=76 VIS			band=77 VIS		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	120	-147.77815	554.96033	43.127689	-34.416855	397.06238	23.644085
B	121	-109.99609	197.55632	531.76318	-129.24234	213.10504	721.71277
B	122	99.926880	249.90846	812.46564	94.477623	253.69504	1040.6293
B	123	357.20145	256.68860	832.75720	352.58466	257.94513	1052.2458
B	124	616.81866	258.54459	829.12653	611.71692	258.31497	1043.0402
B	125	878.04169	259.55823	831.61511	873.12976	260.13599	1032.8734
B	126	1140.5841	258.84015	812.90912	1134.6702	261.14111	1012.8811
B	127	1407.8513	269.30161	826.42499	1403.1877	270.08319	1014.9984
B	128	1677.9867	271.39566	841.18896	1672.7797	270.22272	1036.5515
B	129	1949.0720	262.04114	880.69739	1943.5699	263.82776	1051.7086
B	130	2214.3677	261.85788	860.20990	2208.6885	264.55563	1019.3830
B	131	2482.4956	269.04471	869.40631	2477.0374	269.02316	1020.0507
B	132	2833.5786	297.07608	1962.3357	2782.8059	272.36862	1562.9849
B	133	2870.6997	425.01492	23.210409	3149.0591	705.21692	48.442169
B	134	2132.3005	24.460762	-9.2088900	1012.8904	25.794655	-5.2225552
B	135	2144.4802	9.5888901	-3.7086632	634.10559	44.535557	3.5955393
B	136	897.36810	49.276253	3.7598970	462.41684	18.377499	-3.7373092
B	137	2248.7102	257.43195	0.56562448	2059.6282	27.420944	-7.7996969
B	138	2298.5583	24.518045	-7.0358138	2551.9700	110.10522	-3.1578126
B	139	1305.5255	29.449209	-2.6564918	1186.3610	10.314076	5.0361238
B	140	1044.3809	-32.763985	4.9791565	2025.1824	28.687759	6.9890113
G	30	1385.9492	8.5693350	-3.3669865	89.285126	87.152863	3.8490434
G	31	46.426857	310.14954	8.4475479	-590.18732	1007.7759	51.388008
G	32	45.466877	73.455498	160.03867	46.187721	69.169327	345.25354
G	33	127.50219	279.42209	715.15515	133.42751	279.37070	1226.6996
G	34	400.95035	265.82202	760.20496	407.93948	263.52838	1224.5017
G	35	666.62402	261.44183	789.02069	674.76373	261.22214	1201.7357
G	36	930.29608	258.95529	776.50464	939.70551	258.31693	1197.5564
G	37	1193.2000	259.04156	759.52911	1203.7341	258.19858	1205.7285
G	38	1456.1013	259.98248	742.08466	1466.2606	257.79703	1224.7618
G	39	1719.7645	259.72922	721.37311	1729.9319	257.58255	1227.0919
G	40	1982.0765	258.85043	693.04498	1992.6456	257.55154	1235.3802
G	41	2247.9346	262.74451	671.72211	2258.0588	260.56464	1257.2781
G	42	2517.2363	273.97421	655.60010	2525.4187	272.87411	1260.4905
G	43	2651.7327	133.81412	268.48434	2640.0686	108.94408	435.99689
G	44	2606.2827	114.76517	5.6764793	2859.3479	394.90530	22.817919
G	45	182.95497	109.20055	-3.2035010	322.49582	32.180603	4.3711786
G	46	2564.0256	7.7218690	-0.17579643	2343.5161	30.764236	-5.2203374
G	47	1141.0835	24.730755	8.5377398	1516.8462	10.942146	3.6011066
G	48	1625.1886	30.003433	4.4674835	142.13380	22.714958	5.7792711
G	49	1292.1920	23.535906	5.1252384	1454.2905	11.355885	-4.1018720
G	50	1154.9368	-8.4972725	-3.3961096	1778.4102	182.47696	0.37471375
F	210	-105.32827	634.96991	21.933239	-714.95239	1230.7789	35.943302
F	211	-19.423670	229.61394	1006.2036	-40.875568	253.90167	551.34821
F	212	219.78212	283.41757	1197.2395	216.72308	289.62274	605.95624
F	213	499.43652	275.77640	1200.9805	493.49652	281.23941	621.79974
F	214	777.95032	280.04675	1206.9386	772.13129	286.43796	627.30249
F	215	1055.6011	271.69614	1204.4835	1050.8402	277.36627	620.18536
F	216	1328.4677	272.33777	1233.0612	1323.6740	278.30707	626.42511
F	217	1604.7823	274.37830	1240.4781	1598.6992	280.19724	627.75940
F	218	1875.4353	270.56940	1208.3916	1872.0862	275.58066	603.65948
F	219	2145.9629	266.38022	1195.7332	2142.5540	271.55954	595.01544
F	220	2419.3992	278.04340	1256.9705	2413.1450	279.41675	618.18170
F	221	2654.0967	217.36285	1131.4735	2649.3088	227.44566	534.90247
F	222	2923.3716	404.66321	68.004059	2962.4392	456.93771	66.846794
F	223	2322.8367	26.698788	6.3790598	1154.5571	28.280218	-3.3635466
F	224	299.64981	10.983253	5.4015307	1796.1951	24.567379	-9.9312191
F	225	1318.6011	10.028623	-3.4781466	811.40509	46.667728	-4.1218295
F	226	1393.6466	26.966372	4.1778045	608.21289	31.104193	5.0999079
F	227	1627.6471	22.474436	6.3449249	1131.4125	29.934633	4.7160702
F	228	1362.2217	33.278839	3.5156991	1191.3083	-11.320235	3.2110591
F	229	848.96912	35.359730	3.4993021	845.22290	32.090672	6.2980928
F	230	2301.6221	32.783512	-4.1033454	2170.9934	36.295067	4.5081768

Tabella D.16: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga a (bands = 76÷77 VIS, posizioni boresight, G, F).

posizione di scan	sample	band=97 VIS			band=98 VIS		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	120	-453.26315	804.84143	24.360561	-396.36047	701.81848	28.825317
B	121	-1222.2850	1128.8717	810.38940	-1305.4840	1278.5273	505.27423
B	122	53.841885	212.00690	894.95648	49.579052	216.48820	818.01855
B	123	285.66748	255.91121	963.25922	283.65933	260.01550	859.86401
B	124	548.26086	253.27170	954.45813	545.12909	256.09363	861.97076
B	125	808.42407	248.46289	946.34369	805.83990	252.93221	839.12726
B	126	1068.3829	252.11751	933.44928	1065.0940	255.37955	835.80725
B	127	1334.6589	261.14108	935.65631	1330.6183	264.49158	819.77374
B	128	1604.0153	260.28802	955.90662	1600.8652	263.55118	842.83960
B	129	1878.6328	263.37170	970.81659	1873.6663	267.18607	840.86255
B	130	2142.0408	254.37537	967.61334	2137.8091	257.44263	835.05872
B	131	2410.3394	269.05795	993.01392	2407.4250	269.73990	833.27283
B	132	2635.8140	198.41100	881.11603	2637.0300	206.60396	734.60376
B	133	2888.2034	361.19125	68.634575	2901.6052	343.50342	107.30702
B	134	1852.5791	19.606808	-4.7175488	2457.6409	404.99487	-0.020226717
B	135	825.48309	19.592409	4.0637798	2270.8330	36.083794	5.6300011
B	136	513.63245	54.970291	-3.5896156	2434.1406	25.685844	-4.2930484
B	137	767.20111	30.946335	-4.5487695	2549.4197	26.805338	5.9978504
B	138	93.214981	24.287643	3.6188760	1550.2760	-13.217045	-1.0782140
B	139	2014.7708	5.5831962	4.4660225	1173.1635	-2.2323494	2.2906752
B	140	303.48846	21.850958	-4.7945566	1117.3518	-17.850666	-4.8118634
G	30	26141268.	-7636263.0	3.3470026e+08	93.480873	101.56363	3.6364851
G	31	50.713871	65.777687	4.5970860	55.595478	316.08615	11.122053
G	32	24.424156	126.95905	35.443176	46.460392	62.878128	57.958897
G	33	76.800995	239.96918	906.39600	75.160828	252.23410	1158.0869
G	34	333.13751	265.38718	977.54108	338.13641	263.26053	1169.0587
G	35	601.79816	253.86574	1006.7466	605.49567	257.38293	1128.7759
G	36	865.22217	254.53923	989.13086	872.20819	257.11810	1108.2883
G	37	1128.0250	252.09917	973.68964	1135.1714	254.57115	1109.9573
G	38	1391.4382	254.43985	950.10107	1398.4098	254.72050	1146.5220
G	39	1654.2823	253.84949	924.62921	1661.5392	254.96779	1144.9797
G	40	1917.7050	253.69405	901.10400	1924.4967	256.11514	1168.2872
G	41	2182.0728	256.51843	865.09528	2190.2256	256.51538	1187.9526
G	42	2447.9502	259.16614	862.29034	2454.3181	259.51974	1222.6890
G	43	2650.1152	171.44231	689.91833	2652.2793	169.72905	957.19824
G	44	3050.2354	604.46661	22.784241	2973.1863	494.26065	48.717396
G	45	752.76569	29.172319	-3.8464496	2100.6572	33.205704	-4.7680702
G	46	2349.5730	72.027626	-3.5758247	1575.8292	30.002707	-4.4728589
G	47	864.92505	43.312878	3.5316982	1771.6395	-27.114115	-3.7826810
G	48	1336.0065	34.527153	-3.6300006	2222.2029	38.589375	5.1928449
G	49	1946.8677	-1.2894846	3.7492831	134.95573	7.0395851	4.4691868
G	50	1294.2716	36.252724	4.6319366	659.53564	16.036917	2.7778821
F	210	26.918953	502.00772	14.720181	-29.460522	467.27863	4.6411552
F	211	-155.24594	261.10385	1703.9907	-183.87599	297.43393	565.31439
F	212	144.38358	284.48056	1310.8035	140.14183	298.73788	411.33548
F	213	424.60309	268.35898	1301.4052	422.14911	275.30881	425.81149
F	214	703.65240	277.12476	1318.9984	701.23798	286.37933	433.83142
F	215	983.22815	266.86481	1308.3149	980.69812	276.05542	427.01956
F	216	1256.1285	263.00458	1320.4321	1254.1055	272.69669	429.70334
F	217	1530.8684	272.49786	1327.0961	1527.0579	278.23984	436.21213
F	218	1803.2601	263.55469	1325.1825	1800.8536	279.74277	417.17429
F	219	2075.2874	260.61853	1293.3953	2073.2019	271.16528	407.70599
F	220	2347.3523	267.59079	1333.6504	2344.9253	275.66528	424.32666
F	221	2605.9009	248.30460	1308.3894	2598.0339	251.16032	397.34579
F	222	3017.8933	347.03577	1908.2816	2861.4343	300.12451	147.28911
F	223	2864.2627	407.13290	9.8552532	1319.4849	38.341877	-3.3043008
F	224	1224.2578	-6.5407982	7.2010322	1517.8425	35.073093	4.1986504
F	225	1680.7682	70.437538	3.1477447	2566.8228	42.895607	3.2933774
F	226	1783.5387	5.3456478	5.2590265	263.69623	5.5933099	3.4223614
F	227	1550.8390	8.5494947	-2.0592620	2494.6575	21.123732	-8.2900209
F	228	271.80710	44.403854	-3.3898547	2551.6628	33.237267	4.3411593
F	229	631.75439	49.790237	4.9683151	65.609665	-1.1320554	6.3210955
F	230	-2.6016619e+08	-65611500.	6.4403514e+08	1520.8848	9.5230761	5.0401392

Tabella D.17: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga b (bands = $97 \div 98$ VIS), posizioni boresight, G, F.

Tabella D.18: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga c (bands = 113÷115 VIS), posizioni boresight, G, F.

posizione di scan	sampe	band=113 VIS			band=114 VIS			band=115 VIS		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	120	9.5556602	300.14996	20.442163	15.065385	223.86505	177.59488	10.229185	236.44481	110.63788
B	121	174.11423	496.27975	23.830957	233.62756	298.53854	186.98756	225.43776	291.58151	125.32983
B	122	20.365583	196.56873	47.151358	24.302441	170.14131	3839.0266	29.261181	141.00346	312.93539
B	123	236.26398	256.18402	540.58453	229.96393	247.40193	4600.4087	226.70770	228.09412	360.19974
B	124	496.28842	265.77930	555.53033	491.39612	252.00273	4674.4131	483.84570	262.36835	438.64581
B	125	756.82599	259.52847	561.34833	751.31580	246.72222	4585.5747	741.41449	263.46820	413.94348
B	126	1014.9387	262.33005	550.40863	1010.5229	247.75377	4603.8516	1001.0646	253.42082	414.31284
B	127	1282.0131	271.81998	537.65717	1275.0674	256.88414	4635.0571	1263.9146	262.90952	385.41501
B	128	1549.2292	268.94568	563.29138	1545.3275	265.09457	4659.5029	1538.6445	266.89816	406.85089
B	129	1828.6937	279.74442	578.79010	1815.7184	263.11273	4630.2217	1806.8545	284.31314	399.34222
B	130	2085.4153	270.47192	602.44391	2081.8511	252.09015	4658.1748	2065.6990	257.88046	418.08057
B	131	2356.2749	280.88510	621.32532	2351.4165	267.59586	4743.1392	2342.1140	298.91824	400.32172
B	132	2602.8423	237.66077	599.90942	2600.4067	229.22832	4501.4116	2596.8049	265.55893	384.22153
B	133	3074.2188	417.73639	1058.0078	2793.4585	200.76566	1463.0930	2945.6333	367.48148	428.01489
B	134	2658.1770	132.42758	3.8797698	2812.1404	361.12051	14.147758	2564.4592	248.48105	5.8104892
B	135	2469.7495	-11.395490	-6.5218830	1579.3865	15.166823	-3.7649906	2067.0566	24.427588	-7.8788738
B	136	2183.0713	8.0988579	9.4264927	1044.0540	20.948912	-8.7006598	1714.4417	-16.633667	-3.1470323
B	137	2138.1980	30.754288	-5.4375858	2444.4961	50.447258	3.8475010	297.15881	5.0444498	-4.7966619
B	138	1086.0018	14.838244	3.5426204	390.23654	21.987171	3.5127358	984.92059	6.0344448	29.182247
B	139	1727.7318	28.933277	-3.8072937	1263.2297	30.999308	4.8865409	1562.8389	27.610327	-7.3886180
B	140	2154.2749	23.563038	4.9653854	1617.3787	53.731613	-3.2601640	2052.1814	29.755270	-8.8252227
G	30	-427.72058	931.24512	17.171610	-466.42841	702.47076	36.366188	5.8338051	298.75241	9.4537992
G	31	-1381.7402	2033.3362	102.22420	38.957420	256.10089	100.15009	51.935448	234.22493	183.64967
G	32	-408.93555	1380.7592	48.354744	229.83070	421.90247	110.01398	288.76367	280.96411	189.38452
G	33	35.050190	228.71021	324.60623	43.473640	201.69435	4538.8232	48.612705	175.34413	652.09344
G	34	276.23914	271.60236	411.00639	278.37613	261.66901	5096.3423	286.44238	235.80147	706.97296
G	35	545.60144	269.64832	477.14911	547.72833	253.82530	5108.3779	546.69165	257.57147	723.22593
G	36	802.24670	265.60312	485.99686	811.61829	250.75534	5085.7930	814.50775	255.24376	683.02551
G	37	1066.9327	267.38757	452.05331	1074.8278	250.69518	5021.4365	1078.5599	245.95758	678.72198
G	38	1330.1265	269.05817	432.59277	1338.1332	251.74068	5053.6392	1346.9613	247.34389	734.48914
G	39	1592.0431	268.85046	390.81454	1600.5358	249.33710	5030.3662	1606.4523	254.79964	766.42188
G	40	1853.9517	272.32733	373.67444	1864.0209	253.35298	4982.0195	1867.8212	254.35315	827.11945
G	41	2118.2805	275.89395	328.69415	2128.2317	252.28775	4895.8408	2132.0239	253.81822	850.29193
G	42	2385.7415	274.24338	323.67819	2393.8904	257.93600	5001.2535	2398.8647	268.45914	964.06604
G	43	2627.2744	240.06531	307.06750	2626.2561	207.78986	4607.2798	2637.1453	234.10963	930.14392
G	44	3115.2432	667.51752	70.811287	2899.8933	358.30753	404.51822	2935.9561	496.23431	121.56062
G	45	2609.3542	85.963852	4.7640753	3657.5674	1307.1021	46.664482	2997.6514	627.39111	19.338097
G	46	127.38810	82.905724	-3.8999572	368.84094	11.136034	-6.6024251	191.64317	-11.635105	7.8506236
G	47	1550.7900	1.0166372	-3.4281168	124.87762	45.383865	2.9361415	2478.9705	62.346302	3.3816319
G	48	1047.8397	25.880352	5.8427978	1550.3546	63.330975	4.0703430	2443.6912	-14.711113	3.1550941
G	49	1674.5951	38.743935	3.5947993	1588.1364	12.819741	4.2702231	558.75000	-15.297670	-3.9539058
G	50	122.74773	23.335545	4.9753566	1548.5426	17.420891	-4.0387378	2178.4536	9.3642683	-4.6279840
F	210	76.382263	333.50775	78.155899	74.844666	306.97552	219.22804	13.310507	441.81165	43.792866
F	211	11.331794	92.135406	164.32785	33.743642	-48.714355	235.60999	280.89374	485.48764	40.558891
F	212	96.162376	261.30112	1624.3085	93.609886	259.61783	3645.3625	99.149963	208.67517	64.5949135
F	213	367.24377	268.17694	1655.4403	366.07227	263.04318	3866.9551	376.56274	265.66464	99.255890
F	214	645.33569	279.66882	1695.5062	643.84198	277.29547	3922.6833	640.62524	334.99829	116.21962
F	215	924.71094	271.80283	1673.3654	924.00873	268.50943	3870.0935	915.40741	324.73053	112.84877
F	216	1200.6565	263.18124	1696.4059	1197.1735	280.78110	3916.3186	1194.6833	290.87140	109.11473
F	217	1472.6910	274.47568	1742.9840	1471.1262	270.67795	3958.4080	1470.9091	326.86967	112.86504
F	218	1746.8417	265.91940	1778.3265	1745.1549	267.39133	3936.2468	1736.9940	338.24020	117.52203
F	219	2018.5444	263.36630	1679.3649	2017.5004	260.37778	3860.9456	2003.6692	311.21417	109.66253
F	220	2290.2649	266.95703	1739.7249	2258.9714	266.20505	3919.2207	2280.3772	324.73053	112.84877
F	221	2565.6221	281.66904	1790.2659	2588.5054	274.70309	3958.1328	2544.3679	339.06375	116.94887
F	222	2882.7263	269.66653	3512.5103	2892.8171	278.67706	7805.0962	3341.0134	707.52814	805.55463
F	223	3042.1121	629.74158	25.774117	3058.9871	633.78375	52.064564	3318.4221	938.73962	21.189381
F	224	705.83002	80.831261	4.2954321	2610.4104	64.321304	6.3519254	2736.8047	755.77856	4.4752846
F	225	2153.3923	29.626171	-4.49711256	2672.2266	154.93236	4.3565910	2197.0160	-17.716005	-6.0707860
F	226	2605.0710	15.572260	2.7641490	549.01703	67.019432	3.5559659	2021.0188	28.764647	-4.3352499
F	227	1833.8170	29.688019	-4.9674091	924.28247	56.467838	-2.9064326	1665.10083	-17.000940	-3.8247252
F	228	1043.9225	54.589279	3.9010205	1339.9558	30.567398	-4.5250149	1660.9526	37.503597	5.6081448
F	229	1702.2700	34.394428	-3.9897416	1114.0085	42.636642	-2.9640176	860.98885	-6.9319272	-6.2734952
F	230	1937.8565	77.704292	-2.0624671	1313.9398	40.856411	4.7122860	354.86349	38.279976	3.3728588

posizione di scan	sample	band=188 VIS			band=189 VIS			band=190 VIS			band=191 VIS		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	121	529.77606	26.047285	6.0921631	949.91949	536.93146	7.0501903	976.69611	448.33463	5.1930594	518.43488	79.802658	-5.8845563
B	122	982.74152	295.37076	20.530973	1069.6174	388.49506	43.371513	1121.4360	356.54065	38.777466	1158.0532	480.24863	6.8058920
B	123	955.07178	331.27115	115.35810	1110.4335	473.17157	305.67593	1143.1628	434.34827	325.88477	1311.8540	386.43784	32.838547
B	124	958.48785	333.25391	129.34933	1120.4174	465.37167	370.74625	1149.2296	421.58572	402.82031	1335.7594	267.03943	49.951305
B	125	955.10614	327.86484	132.18945	1118.9172	468.42282	369.90225	1146.9983	423.32132	402.03085	1335.7534	261.38184	51.236012
B	126	952.16235	328.74213	123.62425	1117.2293	464.74704	350.90173	1144.3883	419.50580	386.00430	1326.9048	261.49451	48.066177
B	127	950.05273	328.47372	125.57871	1112.1975	463.69266	351.86835	1142.0364	423.07849	381.77316	1327.4757	266.62976	46.928833
B	128	948.72217	326.76706	124.77054	1113.2709	464.14374	351.20668	1142.7234	421.24136	387.87683	1331.1896	238.64069	48.263901
B	129	946.39966	329.12152	121.81608	1113.5308	463.62825	345.13867	1142.8396	423.63760	374.17850	1324.9646	268.52719	45.970055
B	130	942.84833	323.39868	124.77939	1106.6838	466.67587	336.24899	1138.4872	419.87921	364.79044	1319.8231	260.34076	44.972561
B	131	942.88165	331.92697	123.25652	1103.5908	466.02942	331.20441	1137.4879	421.21597	358.27069	1318.2302	257.05127	43.643246
B	132	942.30939	321.39081	124.30862	1103.6342	466.65915	333.67703	1135.0708	418.92230	361.83032	1316.1549	264.56284	43.482029
B	133	939.00812	318.07932	118.48011	1103.9318	465.03290	318.32840	1135.7882	418.84711	348.55420	1310.2979	263.67316	40.570625
G	33	561.50330	114.22372	-2.3545926	966.88379	344.46399	6.9097781	1004.9307	346.58234	7.6957431	1695.0687	27.489555	-7.8571076
G	34	1008.8680	358.46451	3.9752424	998.67010	435.17380	9.5513554	994.10364	361.84805	9.7958841	535.81885	178.45442	-3.0772336
G	35	1014.3942	244.62431	32.985008	1086.7850	320.74832	109.79784	1103.6182	327.22021	110.31317	1141.6288	373.79266	19.132038
G	36	1043.0376	324.92911	94.914627	1145.0845	399.79807	465.48312	1156.9213	400.33978	498.76569	1247.2286	408.46722	77.808601
G	37	1026.8545	328.21002	97.010979	1128.5629	398.13260	493.91531	1140.4644	397.92676	530.37439	1236.1132	401.59210	85.763008
G	38	1005.5659	330.29614	94.409027	1109.9028	396.01813	484.17578	1120.3085	395.48892	521.99896	1217.0664	401.84323	84.647743
G	39	983.67474	338.42877	92.050468	1087.7224	399.61322	468.25946	1098.3242	399.62695	502.89279	1193.5729	404.55081	81.967911
G	40	965.23596	332.57993	92.625450	1068.1908	399.74387	464.97217	1080.4149	398.56567	495.16388	1178.8464	395.70871	81.392273
G	41	942.42676	338.09720	93.202591	1046.3796	402.84195	460.92618	1057.3380	402.19904	491.70389	1156.6415	399.72729	77.465485
G	42	918.80865	329.94308	92.823692	1025.5698	401.81451	461.38391	1035.4033	402.49509	489.94141	1139.4373	399.35089	77.416840
G	43	897.09753	335.41113	92.863014	1001.5598	403.82480	451.36649	1013.2797	405.52576	480.42700	1117.0144	411.03168	74.799858
G	44	873.97437	332.99057	90.444809	981.19440	398.20679	441.47482	992.98578	399.91544	466.18903	1096.0774	400.71289	74.553963
G	45	858.24731	336.61026	90.131798	964.91797	399.76526	439.05383	976.13959	398.40265	469.38193	1081.9319	397.03546	72.446861
F	211	738.29742	412.14899	5.8857632	761.64990	485.19345	7.6480737	877.42590	680.73535	5.1024761	892.44141	16.300194	3.6818814
F	212	866.38049	332.58151	44.651604	958.88635	431.50015	66.091904	1048.9612	306.59409	60.365711	1093.1013	440.86163	6.1457925
F	213	840.38708	364.22678	219.65836	976.29205	558.05212	318.41077	1086.4202	395.56656	301.62611	1179.5381	450.70578	20.722437
F	214	853.39642	358.55093	258.50296	984.35828	548.59198	373.35776	1090.8751	381.84442	360.82568	1202.3746	343.04910	24.606020
F	215	857.62555	361.06442	258.41672	989.65857	550.65509	377.77267	1097.2737	385.00528	356.82996	1207.9122	365.94565	23.822800
F	216	868.38440	362.38458	249.12152	997.49756	548.26404	362.65436	1105.8258	377.52463	348.44211	1215.1688	337.25098	24.860126
F	217	871.55927	364.04254	250.56233	1000.1713	550.98663	362.44345	1110.5988	380.68118	345.62704	1221.1024	359.21890	24.827005
F	218	879.83600	367.65884	257.53564	1009.1048	553.85272	370.48044	1119.4109	381.45459	350.23999	1234.6321	322.96548	24.016338
F	219	887.95581	368.48053	248.85677	1017.6476	556.13153	360.77655	1129.8965	377.83084	344.08945	1223.3971	413.76660	22.648268
F	220	891.42261	363.98026	238.62297	1018.8683	552.76477	338.19571	1132.9696	379.40784	318.28683	1230.1125	372.65564	22.458231
F	221	898.43323	365.58017	235.44452	1025.9504	554.00745	332.82153	1140.2113	376.94604	314.37405	1228.2300	428.10101	21.700712
F	222	906.64435	366.15756	236.09457	1032.8563	555.16779	331.18146	1147.6866	378.32861	310.47824	1259.6570	319.50525	20.326132
F	223	913.55017	369.72653	225.18571	1038.4993	557.95380	316.64731	1155.8657	378.16364	295.44217	1220.2705	462.22028	19.503120

Tabella D.19: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga e (bands = 188÷191 VIS), posizioni boresight, G, F.

posizione di scan	sample	band=366 VIS			band=367 VIS		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	121	1727.4989	29.674456	-4.6719203	1684.2690	-7.4306555	-4.3192019
B	122	912.38959	32.772987	4.9415827	1377.9302	26.147516	4.0787520
B	123	862.77838	327.09058	2.7401443	1135.1049	338.44620	2.2815602
B	124	2520.7827	25.526136	-6.3077912	569.52264	43.165382	-6.0283461
B	125	1007.7147	277.88196	40.765003	1184.9482	256.75024	53.401524
B	126	1002.8808	277.94733	121.60931	1185.4282	265.19522	143.52110
B	127	1002.4535	281.98938	129.39464	1185.2542	256.36441	153.72446
B	128	1001.6298	282.62097	128.00517	1184.4144	257.97235	149.35492
B	129	996.51196	280.46039	133.59210	1180.2688	260.14856	153.29677
B	130	996.36237	279.04071	135.59673	1179.2264	256.13367	157.00185
B	131	996.82532	278.56415	136.43663	1179.1344	256.32669	160.97073
B	132	994.88007	276.84491	139.44180	1177.0341	257.76245	159.74495
B	133	992.45288	280.87973	141.37669	1174.7666	261.54611	162.52583
G	33	574.45044	-35.590870	-4.3047552	2577.1123	24.142874	3.0175889
G	34	897.59387	107.34875	3.2212605	1813.1576	26.690281	-4.0981865
G	35	1040.6793	48.625324	5.0862179	59.977238	21.813591	-2.6272821
G	36	1034.1721	384.22168	3.1445043	2421.8818	24.647266	-6.6842852
G	37	1044.2299	284.43137	6.8644013	1146.7189	278.23160	7.5877771
G	38	1050.2605	233.92062	135.32268	1196.9030	258.31897	176.43568
G	39	1033.6724	237.72057	217.72586	1185.9380	259.67920	295.03894
G	40	1015.8320	237.82137	218.61491	1166.6434	260.49350	293.94049
G	41	994.98920	242.56195	208.57814	1147.5930	261.99762	288.24139
G	42	972.85895	242.50949	206.62218	1125.0625	264.62543	279.50784
G	43	953.71222	239.69060	210.29140	1107.8655	261.73981	285.08029
G	44	932.60883	238.83064	209.89256	1084.8303	261.90701	280.07092
G	45	912.76312	239.35066	202.15836	1065.2968	263.16467	273.57346
F	211	1998.5109	32.855690	5.8089218	1778.5677	11.826653	-3.5167708
F	212	1263.6484	31.761625	3.6151202	1869.9679	29.502001	-6.3517275
F	213	806.49976	323.34924	3.0660300	918.94800	66.988541	4.1137996
F	214	2268.6956	31.678730	4.4739804	1054.3945	87.268486	3.1557446
F	215	905.01654	291.69788	49.618576	1079.1483	263.58362	55.835968
F	216	901.55316	310.57657	145.67175	1094.1797	254.11549	107.34291
F	217	906.58868	313.72757	154.25356	1098.9174	263.19034	108.21692
F	218	914.91046	317.08890	157.70433	1108.0497	257.65793	111.40595
F	219	920.10016	315.78732	157.56020	1116.6605	256.39505	113.74508
F	220	926.03705	316.14526	164.10039	1122.7778	251.31337	115.48808
F	221	934.41125	312.42291	166.98814	1127.8820	254.36981	115.50158
F	222	939.67670	320.13348	161.02916	1136.0883	254.64651	112.13275
F	223	947.22418	318.85925	163.11301	1141.7162	253.23688	118.08198

Tabella D.20: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga f (bands = $366 \div 367$ VIS), posizioni boresight, G, F.

posizione di scan	sample	band=1 IR			band=2 IR		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	130	1126.9291	482.18140	15.550565	1057.0864	322.06161	45.824627
B	131	1007.5876	331.03299	107.18201	1003.5891	442.04578	189.16634
B	132	882.73395	289.22147	721.72748	888.87177	682.78546	456.32254
B	133	895.35016	300.08115	862.08972	889.38013	658.31378	575.31189
B	134	893.78827	306.09485	869.37524	891.18738	655.59302	590.00104
B	135	894.00690	307.47546	840.57544	897.75659	666.91144	588.27789
B	136	891.74817	306.71585	835.07513	895.64221	660.86334	608.10803
B	137	890.34131	304.92792	861.14716	884.46967	634.38605	609.00269
B	138	889.54663	306.92105	820.36322	885.04498	625.99036	591.35107
B	139	886.98767	305.02341	803.94574	879.37994	625.70953	588.29663
B	140	884.54437	304.35034	754.48132	876.84686	629.10132	573.28156
B	141	881.50586	303.91275	758.71875	859.37048	599.70514	557.81824
G	43	1129.9943	453.90140	19.752274	1070.4027	286.53073	43.384201
G	44	1012.5402	304.08344	263.24539	1023.9686	405.51749	160.44269
G	45	941.88818	290.57971	1403.9293	1109.9971	738.89752	421.18976
G	46	933.43500	311.63925	1501.1877	1088.6412	711.67822	504.67731
G	47	917.79602	317.13120	1470.9835	1065.3633	691.14325	501.51892
G	48	898.48230	319.32819	1394.3759	1043.3938	683.91071	477.65091
G	49	877.73047	318.19318	1343.2231	1021.6136	676.83301	491.23349
G	50	857.19135	321.26297	1319.9948	1002.3574	685.27954	479.36139
G	51	839.64185	320.28668	1287.4106	980.37695	687.77588	472.13675
G	52	818.28064	322.86649	1232.2979	956.00781	689.42346	476.78192
G	53	797.40521	324.13840	1194.5305	928.38287	681.60590	424.22321
G	54	774.61737	326.18820	1151.8577	909.02606	701.46991	404.16550
G	55	755.89130	322.50174	1105.7821	892.27325	719.00293	389.05096
G	56	741.56934	334.77679	695.11298	904.29211	719.23474	249.44363
G	57	894.01660	335.81192	99.030853	836.62854	376.13184	71.161293
F	221	1235.8668	169.63011	38.055515	861.17114	543.46460	272.92722
F	222	731.35242	231.56535	238.98495	654.52124	377.20270	827.00928
F	223	747.60840	232.32561	274.63751	685.94525	435.53198	920.96106
F	224	757.37988	237.02017	276.46088	704.11823	473.24390	929.16125
F	225	765.67053	242.03012	254.51201	716.31012	482.74387	882.90259
F	226	766.02655	233.86989	260.77927	716.25745	481.40686	911.45404
F	227	773.11212	235.11768	257.88104	710.88916	422.45193	914.27716
F	228	781.29169	235.20766	246.66057	723.97113	436.52029	885.48254
F	229	788.42798	236.12332	239.88181	731.78906	454.49164	860.25262
F	230	791.53748	234.67802	225.16028	734.75677	441.03287	842.29645
F	231	798.20380	229.56487	214.26788	736.40778	420.22327	830.92365
F	232	800.86884	224.87527	196.86371	721.85175	346.30756	810.27625
F	233	813.57129	220.33826	120.83892	731.59973	331.18878	441.22684
F	234	940.88251	418.94952	19.889254	957.20844	420.85883	76.664787
F	235	1016.2824	523.01129	6.6467395	1004.8116	409.07468	18.258438

Tabella D.21: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga g (bands = 1÷2 IR), posizioni boresight, G, F.

posizione di scan	sample	band=13 IR			band=14 IR		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	130	1075.4385	603.33484	14.467003	1075.7450	312.57275	54.563278
B	131	1028.0093	483.43198	70.121170	1040.0864	458.74292	222.41972
B	132	888.05994	298.83029	438.79834	948.07361	832.76038	524.20966
B	133	904.72485	317.08286	521.87799	950.12305	802.92914	674.51282
B	134	905.01361	324.06799	525.25952	949.17853	781.49353	684.07916
B	135	904.79553	325.43552	507.08493	952.09967	780.99158	692.89197
B	136	903.25781	328.34192	503.68402	950.80377	775.42560	702.38879
B	137	902.09680	325.86252	514.49603	942.19153	765.23132	694.28394
B	138	900.87134	329.25812	496.20108	939.22668	760.61768	689.32397
B	139	898.23914	326.71927	489.40646	936.13849	763.20514	690.41565
B	140	897.69623	331.54962	454.51736	938.08008	767.56970	665.69482
B	141	892.15710	325.59982	451.18323	925.66467	768.76984	653.73096
G	43	1125.9292	465.76932	23.686026	1082.5803	306.38254	56.521935
G	44	1021.2312	328.06473	240.72032	1051.9562	450.93445	230.24100
G	45	950.93848	311.34351	1210.2878	1118.8647	757.29382	692.39825
G	46	947.18738	341.13065	1279.8552	1100.0898	734.73346	826.82550
G	47	932.03253	350.15646	1222.1660	1079.4177	707.25861	810.01923
G	48	911.76483	352.34991	1164.2784	1057.6550	704.78577	788.65967
G	49	892.64001	351.49774	1148.4023	1034.7388	698.91083	794.92120
G	50	871.93256	353.16110	1136.0516	1013.9412	704.93213	785.81439
G	51	854.11743	352.28326	1101.0975	994.67841	701.48291	752.62689
G	52	833.07513	356.08694	1049.2423	971.61743	702.88245	740.22626
G	53	811.69513	355.95801	1007.4697	947.24304	705.08136	705.68158
G	54	788.68811	357.82608	976.29517	929.93793	722.61505	705.82983
G	55	770.23950	354.35474	947.90948	908.14056	732.29877	651.76025
G	56	760.59674	375.79422	585.82959	911.56427	747.00171	399.78326
G	57	896.37054	332.79984	105.59048	853.46466	359.71246	118.86676
F	221	1249.0231	177.51974	36.064743	924.91547	580.20996	235.80682
F	222	720.65509	246.95970	120.57231	725.04639	871.43134	656.92798
F	223	1274.6057	163.48793	118.97176	769.94153	848.13843	768.68646
F	224	747.58600	244.61682	145.45636	789.49750	821.18188	766.06586
F	225	755.12982	242.24754	140.15906	802.09387	828.16730	770.37592
F	226	755.62836	240.51849	137.15056	798.20502	830.93640	772.95288
F	227	762.59424	239.56604	141.42763	801.64288	823.05872	773.28534
F	228	771.99573	243.86525	133.91051	812.88666	796.21649	710.48444
F	229	777.73962	244.23988	126.41057	818.37653	793.07648	704.51538
F	230	781.19171	248.82401	123.29912	822.92047	792.63788	682.79663
F	231	1330.4933	161.34767	99.480721	830.02954	796.67505	654.95587
F	232	787.94489	239.95914	106.54566	810.11267	763.49194	558.69073
F	233	1346.7394	166.51729	59.494911	777.73981	460.08694	286.13489
F	234	1006.3128	723.44434	19.761637	975.24536	432.79489	82.042313
F	235	254.65662	56.957977	-9.0098944	1036.3680	510.25800	19.945944

Tabella D.22: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga h (bands = 13÷14 IR), posizioni boresight, G, F.

posizione di scan	sample	band=38 IR			band=39 IR		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	130	1067.4668	398.99268	56.869053	1054.7572	445.24298	76.287643
B	131	1078.6609	557.13959	228.91275	1073.6958	569.76740	278.72736
B	132	994.57483	890.86414	691.93433	996.61816	928.04425	795.99622
B	133	1007.1667	857.41052	851.70331	1005.6604	895.54218	966.69452
B	134	1008.1260	843.67493	882.52539	1007.5474	876.88617	1008.9215
B	135	1009.7039	836.70190	862.61273	1009.5645	868.49744	1010.3359
B	136	1003.7928	834.03619	872.19476	1002.7717	869.04584	1008.0620
B	137	996.92169	811.09412	838.65900	995.24591	861.39581	1002.4519
B	138	995.76849	821.59686	847.30707	993.82800	858.71545	994.04681
B	139	993.84888	818.66779	827.54987	992.24164	855.81213	993.39465
B	140	999.14642	834.26666	819.99310	995.41010	866.55139	959.03345
B	141	987.90375	836.10284	799.95740	984.84497	870.29205	943.82019
G	43	1093.5814	406.86877	64.420921	1078.5939	437.45850	80.266212
G	44	1060.0912	499.88559	358.15750	1084.2297	565.33215	377.61682
G	45	1062.1929	697.36353	1274.1865	1112.7137	808.55743	1252.1610
G	46	1053.0477	681.14008	1486.9570	1098.5043	758.82635	1447.6918
G	47	1036.6599	663.39563	1470.2167	1078.6815	743.98627	1466.6095
G	48	1016.4785	664.88458	1411.0962	1057.6539	732.87524	1396.8435
G	49	995.21307	662.88062	1374.8529	1036.5240	731.11853	1371.3151
G	50	974.79559	667.10114	1372.6086	1014.8008	732.06946	1358.9796
G	51	957.56744	669.07477	1341.8298	995.88995	734.67377	1345.7300
G	52	935.83844	665.73895	1272.0481	973.85150	725.28320	1286.2089
G	53	912.84906	665.04675	1222.0353	950.92242	728.03943	1245.6185
G	54	892.78302	686.62274	1204.7797	932.38763	749.70923	1223.4077
G	55	874.67133	691.86426	1131.7736	915.53589	749.53967	1141.3254
G	56	866.06793	693.08215	679.37354	901.74658	751.25488	706.68311
G	57	868.26764	330.50482	173.29631	865.74805	342.53598	212.49815
F	221	989.22314	680.70441	211.32664	942.05774	733.83521	306.53784
F	222	1182.4548	212.08994	289.49954	-31.171335	851.83545	-1993.5756
F	223	861.84833	1070.0186	745.41528	-80.964241	996.80743	-2842.5974
F	224	877.07330	1028.8743	753.27209	-61.037689	984.24390	-2958.9578
F	225	892.12585	996.31140	719.35730	-64.041382	1004.1376	-3041.2844
F	226	881.59180	1020.3431	738.27789	-54.323727	977.64264	-2892.1902
F	227	895.06696	1009.7485	704.71484	-50.356831	986.98401	-2895.1074
F	228	904.61292	997.85333	678.39178	-54.866955	1007.1439	-2911.1616
F	229	901.33032	1012.5807	684.68756	-43.362923	988.00934	-2785.6091
F	230	907.05719	1011.7776	673.80786	-43.564384	991.03778	-2733.5894
F	231	1216.4265	268.08401	275.56964	-55.479324	1024.0433	-2722.5176
F	232	1277.7158	199.51059	255.87711	-31.251532	962.35864	-2166.4951
F	233	927.61725	1004.4949	297.73505	-38.812988	1021.6306	-1382.1729
F	234	975.21332	465.15250	75.689514	966.29156	493.32877	109.27887
F	235	1023.1470	575.73169	25.115553	969.91827	564.91986	34.435528

Tabella D.23: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga i (bands=38÷39 IR), posizioni boresight, G, F. Sulla posizione F il fit non fornisce risultati affidabili.

posizione di scan	sample	band=74 IR			band=75 IR		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	130	1023.1212	377.09811	23.799805	1064.0723	628.36877	19.030766
B	131	1043.5399	623.20752	88.830643	1082.3613	697.40979	71.250061
B	132	1006.0004	1016.4410	242.10669	803.70789	366.37531	158.52023
B	133	1013.8615	982.49811	298.76178	1012.6298	946.65686	285.88269
B	134	1010.7907	961.17590	310.01599	1019.8741	936.98962	294.23849
B	135	1013.7184	931.55383	309.00003	1018.7158	940.58167	286.93173
B	136	1004.1320	923.06934	301.50668	1008.6251	941.14917	285.11453
B	137	1002.9647	913.24933	304.11957	1006.3945	913.15948	284.59067
B	138	1000.2919	929.05548	298.43219	1007.8912	920.69733	280.71146
B	139	1002.6497	921.56866	290.93713	1005.0020	919.95648	271.64389
B	140	1001.2534	946.04529	277.15176	1009.9688	924.50592	260.79492
B	141	986.12292	960.14301	295.26886	998.37537	926.03589	249.63530
G	43	1082.1990	433.71756	31.709177	1113.0493	606.68091	25.092182
G	44	1100.4359	637.46344	137.56339	1087.1986	671.08038	137.27426
G	45	1143.2377	761.52631	431.17725	1073.3702	828.40228	442.86584
G	46	1125.1665	729.38696	462.38657	1062.3148	795.60919	498.08569
G	47	1103.6620	714.32550	486.75882	1046.1606	777.95099	501.87543
G	48	1082.4517	716.83856	484.64450	1027.0367	774.61096	480.37918
G	49	1063.7329	706.95111	449.77145	1007.8121	778.06836	458.75809
G	50	1046.7140	710.40527	430.78571	985.47504	786.69806	461.87900
G	51	1030.9603	700.54590	408.48898	968.02100	791.62457	450.39673
G	52	1005.6855	703.22699	403.97089	944.72449	774.17664	417.78766
G	53	986.04962	707.18457	392.47269	923.34155	782.21625	400.40652
G	54	968.95667	716.90021	376.26395	902.39215	808.45203	399.54663
G	55	954.77069	704.23346	366.25842	882.65533	813.94440	376.25592
G	56	942.14594	698.18719	193.08360	866.56757	789.27209	220.89200
G	57	858.31519	372.30969	48.066238	899.06372	383.28436	58.547100
F	221	931.33350	762.77155	114.01598	875.42151	1100.7560	79.902306
F	222	1147.7501	257.93896	131.80704	1220.6470	202.11621	128.23521
F	223	842.52039	1095.2172	338.68768	1214.4283	220.89119	143.08611
F	224	845.68561	1081.8856	347.71240	1222.5168	209.19974	145.16122
F	225	860.99426	1047.5364	330.76514	1213.3656	204.03558	137.56747
F	226	850.76489	1068.6875	338.59805	1226.6989	217.38687	133.17574
F	227	867.16174	1055.0768	288.41617	1237.1462	206.88490	130.17242
F	228	879.83453	1049.8175	315.33389	1239.5242	208.08336	125.39370
F	229	867.86560	1076.1587	323.60889	1241.9747	183.95198	114.26344
F	230	882.79474	1054.4108	317.44565	1252.9924	183.10237	114.98870
F	231	888.70917	1074.8942	298.34430	1269.3990	195.41426	114.14285
F	232	1201.7545	305.67096	103.25066	1282.8102	187.37369	100.87875
F	233	941.41095	1044.5018	130.18079	1265.8169	201.45290	55.490784
F	234	999.86365	550.93451	35.306957	-116.21217	1204.6062	-104.07528
F	235	999.63934	528.43097	9.8661213	1144.8923	55.288334	8.1862040

Tabella D.24: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di fenditura: riga I (bands = 74÷75 IR), posizioni boresight, G, F.

posizione di scan	sample	band=171 VIS				band=172 VIS				band=173 VIS				band=174 VIS			
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	
B	120	-316.1859	657.6013	43.46513	-413.6208	475.9516	957.2805	172.1749	-352.4418	487.4124	221.1749	836.3605	25.23369	-503.4084	836.3605	25.23369	
B	121	121.4079	439.3656	300.3201	136.5550	300.3201	190.3501	109.7101	109.7101	127.5698	84.86534	14.92242	77.43989	118.1724	14.92242	77.43989	
B	122	-5.671085	160.9737	25.81799	-11.81093	95.48563	989.5054	-40.23535	-40.23535	344.8259	659.5195	36.36386	-755.8728	1180.609	36.36386	-755.8728	
B	123	86.26385	284.2597	79.21134	50.15873	248.8718	9804.437	30.13593	30.13593	239.5897	7797.433	384.3237	-17.79332	384.3237	384.3237	-17.79332	
B	124	343.0656	315.8387	95.58927	295.9988	270.6295	10147.17	530.6013	530.6013	271.5692	8121.373	353.8405	264.2522	353.8405	353.8405	264.2522	
B	125	589.1611	373.6539	113.6595	557.4669	272.3649	10210.33	532.4220	532.4220	269.7918	8142.141	84.74103	515.3683	413.6130	84.74103	515.3683	
B	126	845.4500	368.5296	110.5349	818.4913	270.4674	10045.01	793.2328	793.2328	266.8920	7990.769	84.03060	772.1146	414.1903	84.03060	772.1146	
B	127	1104.787	362.9762	104.8754	1078.091	272.7194	9966.885	1052.145	1052.145	266.8578	7942.547	82.10598	1027.486	395.7132	82.10598	1027.486	
B	128	1381.501	381.0420	108.8467	1344.335	280.7735	10041.51	1317.503	1317.503	278.1855	7831.401	80.33412	1292.260	413.0700	80.33412	1292.260	
B	129	1651.887	412.8317	116.8922	1614.547	282.9862	10237.14	1588.993	1588.993	277.2981	7996.162	83.69292	1567.756	439.4558	83.69292	1567.756	
B	130	1912.755	371.2786	126.7171	1886.707	283.5513	10508.14	1861.199	1861.199	281.2524	8031.815	87.57189	1833.887	445.3140	87.57189	1833.887	
B	131	2174.722	385.0622	124.5735	2152.110	274.3685	10539.31	2125.562	2125.562	270.3080	8006.722	88.30464	2090.830	415.3456	88.30464	2090.830	
B	132	2438.185	378.6480	124.9753	2419.005	284.6050	10685.97	2393.769	2393.769	282.4667	7996.618	78.81999	2350.992	411.9881	78.81999	2350.992	
B	133	2830.421	522.5796	177.2314	2664.694	248.6184	9942.149	2636.568	2636.568	236.6613	7377.032	77.83232	2638.851	404.1563	77.83232	2638.851	
B	134	3060.997	664.9268	63.64793	2855.001	268.2851	1771.742	2845.743	2845.743	257.4950	1815.974	173.4514	3237.917	724.2122	173.4514	3237.917	
B	135	2827.816	647.6867	6.084285	3223.975	813.3061	88.80205	3442.561	3442.561	956.2136	190.7993	7.828249	2611.294	402.4075	7.828249	2611.294	
B	136	2884.363	311.1931	19.94499	3060.070	540.4025	30.00864	3906.066	3906.066	1448.319	66.20552	3.473808	164.7009	2635.533	164.7009	2635.533	
B	137	2408.104	9.060581	3.759579	2592.892	53.11029	2.322297	3093.944	3093.944	754.2794	13.05180	4.055031	28.76459	2367.949	28.76459	2367.949	
B	138	2482.090	195.4816	3.055921	996.2619	4.982513	0.2065408	286.9904	286.9904	-1.954207	1.954207	4.143084	366.2569	-8.259783	366.2569	-8.259783	
B	139	2123.252	25.76554	4.433295	485.7926	35.32344	3.531287	424.2243	424.2243	-7.726553	-1.08658	-3.529985	2302.677	41.82722	41.82722	-3.529985	
B	140	1314.316	53.22969	3.876961	824.6853	9.179618	-2.955421	1622.579	1622.579	71.86667	-4.509326	-3.118287	2078.544	-19.65440	-19.65440	-3.118287	
G	30	1099.158	-30.34773	3.823917	88.94039	413.0596	4.788200	84.40217	84.40217	136.4649	6.125070	-6.354439	2196.319	31.74626	31.74626	-6.354439	
G	31	62.30710	243.5795	6.500136	-35.47396	242.5756	98.59637	6.186541	6.186541	188.0012	76.95833	44.18107	-646.9287	879.7262	879.7262	44.18107	
G	32	-8.76419	192.0410	19.36182	177.7811	311.8739	131.7729	178.6644	178.6644	315.8115	110.1545	15.69484	79.28487	557.4386	557.4386	15.69484	
G	33	-9.497126	197.0149	15.26281	46.45399	60.96723	420.9326	46.45650	46.45650	34.04199	347.9705	19.78476	14.62960	196.7214	19.78476	14.62960	
G	34	127.4845	311.5390	40.09184	72.53029	250.2859	8640.449	63.52390	63.52390	252.5939	9443.944	365.5253	331.0268	365.5253	365.5253	331.0268	
G	35	397.8889	366.8412	67.51527	332.7065	266.5172	9341.027	324.4780	324.4780	267.6411	9428.551	79.90177	9428.551	331.0268	368.1507	79.90177	
G	36	644.3389	397.3956	79.13972	599.4094	259.1355	9642.640	592.1135	592.1135	260.0173	9926.234	91.25361	577.7291	432.7563	432.7563	91.25361	
G	37	899.3152	384.4635	77.83244	863.3588	258.3238	9615.481	857.8441	857.8441	259.7034	9093.650	89.07334	837.3764	447.1993	447.1993	89.07334	
G	38	1170.143	386.4952	72.06345	1126.001	256.7292	9363.336	1121.667	1121.667	256.7373	9126.924	88.69017	1106.107	433.1484	433.1484	88.69017	
G	39	1430.588	388.6315	72.14233	1389.640	258.2612	9231.914	1384.752	1384.752	258.7800	9322.690	90.88864	1371.149	427.5227	427.5227	90.88864	
G	40	1692.190	413.3749	69.99398	1652.428	257.2104	9036.675	1647.827	1647.827	258.5332	9476.355	96.93240	1632.427	440.0156	440.0156	96.93240	
G	41	1948.468	393.4303	66.67421	1915.224	258.1152	8798.754	1912.393	1912.393	258.5547	9685.473	98.41011	1889.672	449.0116	449.0116	98.41011	
G	42	2214.836	372.5956	64.30361	2180.267	259.1507	8571.747	2177.649	2177.649	259.2970	9984.958	103.6707	2157.118	448.1804	448.1804	103.6707	
G	43	2478.919	397.2041	65.46432	2446.315	262.8905	8517.404	2441.252	2441.252	261.3140	10206.65	94.77973	2417.361	481.1492	481.1492	94.77973	
G	44	2762.772	407.1969	68.30771	2651.707	182.7948	6799.376	2655.250	2655.250	3136.934	159.5078	58.81492	2733.142	487.0227	487.0227	58.81492	
G	45	2676.067	315.9748	8.899238	3080.381	532.1665	722.7149	3136.934	3136.934	1293.093	145.5369	64.31902	2926.729	582.6053	582.6053	64.31902	
G	46	732.5388	45.76416	3.473801	3842.278	1364.377	145.0881	3730.567	3730.567	319.4538	4.457710	3.118763	2615.221	26.65547	26.65547	3.118763	
G	47	527.4277	44.50748	3.827200	2620.898	294.3418	4.654269	2664.229	2664.229	587.1655	29.58892	-3.931196	958.2728	17.94175	17.94175	-3.931196	
G	48	965.4920	26.19860	-4.164498	553.1604	30.78593	5.921764	253.5774	253.5774	21.54376	6.222414	4.633975	719.9021	40.57220	40.57220	4.633975	
G	49	2387.026	24.35869	-5.376103	1947.940	19.47739	2.744083	1047.542	1047.542	-0.5282533	-2.944129	-5.029870	2574.422	56.95851	56.95851	-5.029870	
G	50	849.5125	28.03139	4.330052	701.0158	31.02933	-4.508401	-764.7307	-764.7307	1122.905	130.4218	34.38856	-834.3866	1340.725	1340.725	34.38856	
F	210	-38.38915	329.9809	94.60556	-93.04599	391.7628	193.8627	-577.4157	-577.4157	1248.668	131.8942	12.95506	-62.12345	800.6290	800.6290	12.95506	
F	211	234.1135	340.6731	90.81026	204.5014	398.7251	165.6386	-115.8572	-115.8572	299.8038	3612.885	484.1242	-1078.722	1145.477	1145.477	484.1242	
F	212	7.472647	167.6586	262.2274	-19.49031	219.6718	7224.062	150.4551	150.4551	318.3450	4250.070	45.92319	167.5124	411.2991	411.2991	45.92319	
F	213	147.7411	290.8357	618.8477	151.1287	314.1685	14029.58	432.1127	432.1127	300.4227	4327.342	58.54991	446.3058	445.0942	445.0942	58.54991	
F	214	423.7539	313.4415	668.8926	429.1796	307.5554	14017.36	708.3798	708.3798	311.1016	4454.269	61.73019	704.4148	488.4310	488.4310	61.73019	
F	215	699.6668	322.6884	702.9327	708.1803	312.2440	14273.51	988.5342	988.5342	300.3870	4441.425	59.54309	985.3728	465.3035	465.3035	59.54309	
F	216	977.6137	315.0849	673.3866	988.1492	302.4470	14263.73	1262.550	1262.550	296.7013	4423.435	58.97587	1266.267	460.9671	460.9671	58.97587	
F	217	1254.514	300.1844	716.6671	1261.473	298.8572	14461.21	1535.595	1535.595	303.1897	4468.829	62.25988	1534.776	477.0005	477.0005	62.25988	
F	218	1525.155	322.1297	747.0279	1535.435	307.5903	14374.40	1809.821	1809.821	300.0815	4295.909	73.02806	1805.735	474.1235	474.1235	73.02806	
F	219	1791.120	305.2345	763.4945	1807.924	299.4061	14374.40	2083.762	2083.762	293.9769	4280.670	59.95590	2075.700	462.3536	462.3536	59.95590	
F	220	2065.964	312.0491	726.8253	2060.377	295.3180	14147.29	2353.407	2353.407	293.4232	4377.643	55.44147	2336.272	414.5398	414.5398	55.44147	
F	221	2337.792	309.7173	756.4116	2352.341	298.9118	14550.63	2611.231	2611.231	293.4232	4377.643	56.23194	2624.656	493.0740	493.0740	56.23194	
F	222	2618.413	329.3541	817.0150	2619.431	296.2581	14645.88	3021.181	3021.181	363.5372	9918.793	317.9969	3693.669	1120.223	1120.223	317.9969	
F																	

posizione di scan	sample	band=188 VIS			band=189 VIS			band=190 VIS			band=191 VIS		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	120	700.5667	29.47825	6.554136	-1.72.6776	257.43.34	83.22906	-260.9958	498.9020	22.53478	819.6729	58.76672	3.270335
B	121	113.5638	283.4921	2.106720	107.0822	296.1910	36.43082	84.63724	328.6395	29.09706	98.50383	424.8917	8.274625
B	122	37.44042	29.06990	6.115948	-42.29665	-32.72076	21.22258	39.63625	34.93126	19.72407	370.7676	197.0536	5.374556
B	123	25.50511	232.2541	521.0991	-1.332153	243.6547	2003.331	-11.12823	217.0054	1990.930	-127.6523	316.9938	283.2372
B	124	253.2930	274.2313	569.5147	225.4238	280.6078	2267.652	217.0054	281.5445	2258.499	183.0669	286.4701	1.99.2149
B	125	514.6339	282.0926	578.9287	488.1586	284.3963	2279.405	739.6985	283.5578	2267.520	449.4097	290.3494	200.5918
B	126	773.9762	278.6911	570.6402	578.9287	281.4479	2249.418	739.3947	280.5607	2231.823	706.3112	294.2194	200.2173
B	127	1032.730	278.9734	567.0712	1007.337	280.3484	2235.933	999.4943	279.6244	2226.206	967.2968	291.5934	199.5603
B	128	1299.775	287.5021	567.4223	1272.891	288.2114	2252.193	1264.330	2226.855	2226.855	1231.063	299.1306	186.6688
B	129	1568.707	290.9316	580.2180	1543.270	289.4263	2275.533	1534.884	288.6219	2262.416	1504.732	304.8039	190.8740
B	130	1840.957	294.2446	603.7243	1813.753	294.7040	2316.114	1805.277	294.1378	2270.052	1774.160	309.0168	197.6740
B	131	2106.114	283.2465	626.2609	2080.360	283.8157	2327.126	2071.545	2327.126	2274.805	2041.544	292.1009	202.7266
B	132	2374.142	297.8587	633.8118	2348.186	297.3460	2337.166	2340.033	296.4733	2275.527	2305.294	304.3155	193.0578
B	133	2629.945	278.6071	595.7255	2607.363	275.4581	2245.144	2599.814	274.4334	2207.252	2572.784	287.2293	186.8558
B	134	2828.929	240.9566	561.1795	2922.419	260.5943	8338.340	2279.015	190.0667	1533.173	2930.574	358.2378	314.4818
B	135	4625.002	2330.890	56.11795	2686.430	388.1629	9.381386	2914.929	653.2053	14.43328	2738.656	138.1181	28.86635
B	136	3666.224	1314.702	16.03278	459.6460	66.73403	-2.400340	2598.288	77.58657	3.623741	2335.050	86.95178	-3.651291
B	137	173.1046	30.49410	6.230157	683.0770	25.10269	-5.254864	494.3614	19.80896	-3.872906	1828.450	24.55162	7.692506
B	138	2376.158	7.573490	-4.304884	2004.808	39.54576	-14.64786	2540.858	-1.229254	-4.317328	2606.138	17.55083	-4.399021
B	139	359.5285	13.08271	-5.554945	91.88882	-11.30574	-14.64786	2243.457	41.59223	3.660885	1838.413	28.19984	-5.174724
B	140	2008.877	-9.623427	-5.985412	793.8181	11.52852	-3.040165	713.5123	28.49658	-5.635954	1937.582	31.35059	-3.486535
G	30	982.4932	24.60677	-4.017404	701.8587	32.05943	-4.903097	2363.538	32.92450	5.985919	190.1779	31.41386	4.504005
G	31	47.19430	261.6260	4.536490	49.05059	75.08343	15.76443	45.70781	94.31623	1.372012	1762.508	38.02151	-4.695722
G	32	136.3327	374.7762	11.46182	158.4255	298.0409	32.16762	154.8921	317.4313	29.79762	94.01015	488.1812	5.895591
G	33	47.04832	40.09271	14.49148	48.74535	32.91616	43.09294	43.59833	42.86481	26.92780	51.48270	251.6327	3.130942
G	34	40.01449	241.7492	393.7758	30.51848	223.3302	2333.130	28.90269	22.56587	2413.121	0.9252350	281.4843	292.6342
G	35	291.0641	271.9609	469.6501	268.0020	274.2130	2638.658	262.3914	274.3869	2713.028	243.1196	295.9262	280.2327
G	36	554.8493	268.4635	512.3254	536.0392	266.3761	2643.703	530.8484	266.8926	2686.218	511.5892	289.9354	280.2080
G	37	815.8573	266.0555	514.4717	801.0180	262.2022	2641.957	796.3727	263.1178	2684.586	776.5227	294.9376	264.4930
G	38	1078.421	269.8983	490.0075	1064.077	264.0107	2606.810	1039.134	264.1877	2677.275	1042.530	286.2093	276.1211
G	39	1342.668	270.0263	472.5859	1327.715	263.6072	2610.168	1323.404	264.5570	2678.317	1306.554	299.3021	272.2117
G	40	1604.926	267.8078	451.1233	1590.180	261.5685	2603.920	1585.157	2676.884	2676.884	1568.029	283.1179	297.2650
G	41	1867.788	272.6498	421.3588	1853.975	264.4856	2593.094	1849.368	265.3501	2690.252	1832.991	289.8575	297.5065
G	42	2135.092	273.3708	395.1705	2118.882	264.1810	2591.320	2114.257	264.2974	2701.908	2097.946	285.8028	330.9312
G	43	2400.586	275.6633	384.5747	2383.544	236.6426	2635.174	2378.931	268.4320	2748.382	2362.555	283.1785	352.5421
G	44	2638.281	238.0775	347.4867	2628.673	227.4564	2442.067	2621.686	2621.686	2616.754	266.9420	371.6820	371.6820
G	45	2680.871	300.7258	17.21054	2816.295	329.8904	190.1509	2884.844	372.5679	355.4514	3105.140	611.1449	182.7255
G	46	1215.368	1.298253	-2.897892	2932.277	654.7702	11.72927	2684.405	378.8645	7.937939	1624.680	33.15428	-4.327017
G	47	1722.165	29.11686	3.857646	2278.093	19.42787	-3.498253	1244.902	30.48208	-4.735921	882.6350	38.33163	-3.500107
G	48	1809.147	25.89148	-3.696102	664.5620	-6.271141	-14.30913	1503.214	27.36013	-6.795595	1783.386	13.08266	-2.978779
G	49	1425.069	53.27132	-4.330181	593.6319	-23.88910	-2.821395	1487.216	-6.118512	-4.222879	424.1744	10.66201	-6.875378
G	50	1395.488	33.61701	-5.421740	291.6680	49.40973	3.980680	254.4944	16.69802	9.355618	388.5931	29.28835	-5.613524
F	210	-370.7982	548.4772	100.0492	-452.3397	619.9070	168.3327	-494.3138	712.26312	49.70524	473.3048	81.67675	-2.685456
F	211	200.3843	327.1714	32.81638	193.2124	136.1918	37.45989	85.72415	586.25934	17.03782	2314.524	46.30086	4.923358
F	212	-10.74140	157.5649	338.5831	-40.08178	190.4675	863.1454	-115.0128	255.33777	1119.154	-84.31193	329.6138	26.41420
F	213	88.77899	316.7007	1137.454	87.09632	321.0138	2449.044	86.31550	324.88870	1871.252	83.02785	345.4763	89.04186
F	214	363.4581	318.0264	1152.181	365.3465	315.6923	2467.718	365.6109	316.38269	1885.092	366.6741	312.3290	93.39353
F	215	642.0062	322.7447	1150.368	643.7702	321.2360	22514.452	321.86630	321.86630	1922.890	639.6549	344.7618	101.1740
F	216	923.3258	317.3258	1148.628	923.5983	315.8136	2489.152	923.5685	317.17258	1898.434	919.7275	338.9664	99.14347
F	217	1195.301	308.1409	1152.683	1197.489	306.9294	2593.363	1197.199	309.23593	1906.942	11194.115	327.9371	99.66479
F	218	1468.462	316.9364	1196.472	1470.075	315.3104	2561.964	1471.175	315.35745	1948.808	1467.204	347.9501	102.7568
F	219	1740.079	307.3329	1209.495	1743.958	307.2356	2566.907	1745.450	309.54083	1930.181	1739.270	339.2516	99.75672
F	220	2012.735	305.7661	1172.637	2016.644	305.4610	2479.532	2018.449	305.26694	1883.426	2015.224	333.0654	96.59546
F	221	2284.210	306.5985	1185.398	2289.059	307.0824	2509.553	2290.492	307.61768	1905.342	2285.204	319.4474	98.46319
F	222	2555.935	313.1658	1235.658	2555.976	305.5556	2575.094	2557.061	306.90262	1918.009	2251.033	331.0491	97.63278
F	223	2862.336	287.1322	2370.401	2857.836	289.9693	4253.284	2846.219	286.54495	2784.809	2937.324	408.3547	169.6348
F	224	2651.993	248.5528	7.811973	3030.623	581.1497	45.60117	2945.278	494.88022	39.49273	2970.973	413.8452	21.921348
F	225	2585.127	114.8651	2.098829	1148.461	20.03305	-5.445453	1775.125	29.58261	-5.434918	2454.752	38.59912	4.550102
F	226	2474.109	52.42585	3.366254	2363.443	27.18835	5.642177	194.8842	71.04845	3.114845	2476.794	2.856639	6.767304
F	227	857.8220	-16.50323	-2.863205	1254.276	-19.63242	-2.808173	993.9853	74.054779	-3.613930	1331.483	23.52477	9.782393
F	228	2215.838	56.26033	-3.415116	632.4982	-12.65802	4.694590	2346.156	15.502523	4.447530	2064.280	20.42868	14.86195
F	229	730.7830	-43.15274	-1.850530	2181.822	9.238881	-4.269174	1319.686	-6.8983331	4.019609	890.5980	14.75841	-2.305623

Tabella D.26: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga e (bands = 188÷191 VIS), posizioni boresight, G, F.

posizione di scan	sample	band=366 VIS			band=367 VIS		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	120	742.50482	-1.5301570	3.2821877	2490.9614	47.021477	2.6061378
B	121	-259.74146	772.89636	7.2187366	-970.15271	1275.5228	34.048824
B	122	44.557716	301.04343	22.756601	-505.27881	959.54315	31.460773
B	123	306.93851	297.93759	22.274977	300.94638	296.35211	8.7783556
B	124	573.05396	306.12521	19.414219	562.50153	240.28200	6.3476110
B	125	-227.07802	304.11346	3495.9995	-266.87183	337.46265	5365.5439
B	126	63.470798	326.32504	1867.0284	71.138512	333.13855	2104.8101
B	127	337.71664	301.38251	1856.3319	347.70068	306.05789	2085.8452
B	128	599.11176	310.18280	1782.9263	610.60742	313.40543	2001.9526
B	129	861.48224	297.71246	1930.6156	872.75043	303.97928	2148.8071
B	130	1119.2114	305.94266	1912.1937	1131.3092	310.25601	2126.1345
B	131	1387.1396	316.39951	1972.8586	1400.8354	321.27621	2189.6204
B	132	1655.7207	321.20541	1951.5125	1669.4050	323.82617	2154.7925
B	133	1927.7069	306.48203	2047.9260	1940.0059	308.57034	2256.3340
B	134	2189.9487	317.99982	1918.0553	2204.4238	323.14532	2073.5649
B	135	2456.7476	309.14227	1937.7728	2472.0391	312.78812	2061.1392
B	136	2734.0649	303.95517	2111.2529	2787.4099	337.82242	2716.2822
B	137	2847.9622	264.87674	296.13492	3050.7505	400.02484	1022.9772
B	138	2617.7087	126.44179	3.3558095	3106.5593	567.01270	49.951488
B	139	2086.3972	73.970055	1.7432055	1530.6909	23.252018	-6.1836233
B	140	1050.8699	31.742840	-3.6221931	1440.5106	32.146088	-4.8070469
G	30	1610.5408	27.201981	5.1320915	1311.9448	51.936783	-2.9180741
G	31	2392.1445	40.515411	-4.3381453	529.38647	6.3866754	3.7960455
G	32	196041.06	26909.783	-2454.0571	962.50372	22.651379	4.7997332
G	33	123.55303	259.93011	4.7022562	112.22919	99.839844	4.7196484
G	34	461.88950	109.63790	2.0653157	256.03720	171.97678	2.7068331
G	35	568.76538	80.859550	3.7634869	896.97839	51.062096	-3.7634165
G	36	41.419968	105.80265	97.289932	35.864281	112.18294	125.93561
G	37	135.88986	296.46808	307.90488	117.35703	307.83072	432.77942
G	38	408.63184	284.81796	334.40665	392.92896	292.14938	440.51050
G	39	670.16620	281.41455	341.24121	656.04980	291.17252	434.08527
G	40	933.33667	284.25381	334.03421	922.66547	291.44708	420.94437
G	41	1199.5018	279.96158	342.78455	1188.4064	284.30408	450.34769
G	42	1461.2062	279.74365	350.29062	1451.8579	284.91415	469.26151
G	43	1723.5724	279.00726	344.38507	1713.4933	286.52148	480.82825
G	44	1985.6210	279.65747	327.78650	1976.8029	286.79044	478.20200
G	45	2252.7437	283.32605	313.78558	2244.7378	290.67334	482.16748
G	46	2521.2319	287.95288	317.97580	2509.9902	293.25760	493.77744
G	47	2673.3096	192.39709	154.29010	2688.8245	213.83418	308.49362
G	48	2607.0244	90.595131	2.4990745	2903.1953	490.31754	16.572201
G	49	4574.2407	2510.0322	8.9668894	2594.7751	78.386185	2.4618993
G	50	1647.3280	-15.315937	-4.6984458	2619.3188	36.778240	5.9853292
F	210	2590.5691	-34.754215	3.8864241	1286.9240	42.423374	-3.7170720
F	211	237.11783	23.856730	-4.9698462	110.64816	28.847929	4.7567978
F	212	2543.1758	13.523682	4.2099280	803.66315	28.614267	-7.2949533
F	213	1841.4099	12.578411	9.5343237	1123.5275	-12.450298	-3.5122104
F	214	1523.0530	8.3097954	11.920917	-644.15765	517.63232	725.71466
F	215	-45.940777	284.12506	231.97301	6.3489943	277.05621	204.25711
F	216	172.28847	328.85016	343.53244	244.31546	326.06448	236.32318
F	217	449.03796	320.77600	330.03827	523.02948	331.85925	222.97165
F	218	730.98456	318.15610	343.38947	800.17664	333.48169	233.92104
F	219	1010.0801	308.58771	347.19174	1078.5490	322.60300	240.41771
F	220	1280.1200	309.13617	356.45163	1350.5107	328.02588	245.46472
F	221	1555.1536	315.23395	360.23743	1625.6764	320.44150	246.98924
F	222	1823.1741	316.14310	338.84634	1898.0514	325.73941	229.07117
F	223	2098.0779	306.76352	330.02109	2171.9463	319.84827	229.48068
F	224	2373.7844	307.08969	350.60522	2443.3171	317.00577	238.37408
F	225	2628.5259	291.73221	353.87421	2744.4390	369.33484	252.96198
F	226	2996.7058	375.33850	385.15051	3273.1514	688.46295	146.35205
F	227	561.70129	4.6777005	-3.8941329	606324.38	-174307.34	-8307920.5
F	228	1914.0085	20.061516	-3.9169765	1893.5602	31.753616	6.1908092
F	229	1274.9071	24.378120	-5.1285329	492.97473	61.594433	-3.1410432
F	230	2178.0474	14.392627	3.3834276	1262.2006	25.755114	4.2626290

Tabella D.27: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga f (bands = $366 \div 367$ VIS), posizioni boresight, G, F.

posizione di scan	sample	band=1 IR			band=2 IR		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	130	-262.55258	676.26251	91.708672	-314.16672	577.11041	312.42010
B	131	-623.27551	701.81244	3747.9204	-667.47748	768.07886	6668.0962
B	132	-106.75651	364.08945	5098.7021	-268.58859	631.01251	5880.0029
B	133	223.47214	292.25388	3742.8442	243.49501	344.27814	3040.1250
B	134	485.66278	299.49411	3780.9324	503.30850	362.54111	3221.2695
B	135	743.42926	305.22168	3786.0867	760.40979	367.67868	3219.0378
B	136	1003.4965	306.73727	3697.5762	1020.8500	369.10590	3207.1433
B	137	1267.9991	310.15918	3679.5916	1287.4731	370.54233	3198.4136
B	138	1541.3118	312.70544	3698.5730	1562.2267	379.33771	3276.3979
B	139	1810.2985	319.81647	3734.6230	1829.4542	381.97839	3405.5474
B	140	2075.1501	303.13699	3748.5161	2092.0967	356.57806	3419.6250
B	141	2340.1306	307.86325	3619.3025	2353.7896	343.93509	3342.1782
B	142	2608.1716	297.93198	3366.1711	2623.3464	342.05588	3283.2327
B	143	3270.8574	678.08636	8303.7715	3287.9517	690.23199	9934.3848
B	144	3415.5117	870.40582	913.92871	3455.6057	1037.5226	887.38818
B	145	2912.6648	472.94485	50.314308	3565.2424	1057.9446	374.84848
B	146	2922.4788	426.18329	27.021988	2616.0020	94.466858	9.2244797
B	147	2548.9509	-220.33939	5.9463682	1381.1805	122.78127	-6.7846518
B	148	888.11603	56.451321	-6.5061636	1746.1700	51.192623	-4.8789296
B	149	591.98364	-9.3486414	-7.7077193	1742.2614	31.652905	-5.7648902
B	150	1010.7437	31.616779	8.2996111	2450.6965	62.386604	8.2039165
G	40	-1585.7632	1848.3759	235.61722	-479.07358	998.10980	33.818642
G	41	-882.65009	1222.4087	283.51419	-651.48853	826.84283	439.15695
G	42	-620.74628	701.13763	3409.3723	-605.51184	854.06317	1540.8981
G	43	-7.3215818	263.89795	5197.4688	-288.68335	579.00360	5196.7290
G	44	244.39873	295.34863	5415.8667	248.47958	319.75211	2403.7808
G	45	513.23615	290.92920	5296.8022	513.31635	329.36270	2600.0312
G	46	778.52722	292.15363	5286.9863	776.52094	330.39670	2632.9072
G	47	1040.7512	291.87119	5334.9023	1036.1080	326.60867	2605.5930
G	48	1304.8330	291.28470	5293.7554	1300.0741	325.12924	2521.0483
G	49	1567.7068	287.31110	5251.8647	1562.7589	324.71555	2477.8582
G	50	1831.3424	295.29483	5256.3794	1827.0150	334.36710	2412.3735
G	51	2095.9407	294.10800	5309.9795	2089.7729	327.71140	2348.9924
G	52	2357.8762	285.08975	5260.4888	2350.2061	308.27182	2274.5056
G	53	2616.3354	279.06158	5118.7632	2615.9009	313.52005	2236.8162
G	54	3140.0806	625.70929	4799.5752	3350.4792	749.52197	5367.1704
G	55	3368.6750	946.35004	672.17725	3280.1814	939.24396	345.81781
G	56	3861.9050	1259.2574	435.47238	3608.1104	1240.6542	201.28561
G	57	2879.2520	414.01343	22.486900	2579.8401	186.64420	7.3719196
G	58	1086.3101	13.455493	-9.0901699	177.79129	26.335630	12.172298
G	59	473.30301	21.791092	14.810716	2098.6946	186.27116	4.1777096
G	60	1241.8883	28.665197	-16.020727	2210.9282	15.360489	5.7681031
F	220	-602.82739	819.51996	442.29132	-593.05927	728.56970	2602.4253
F	221	-728.21143	918.28320	2717.2334	-317.33197	691.28351	4325.8555
F	222	80.564728	348.73196	1309.7880	93.499771	392.71606	4883.7178
F	223	369.21082	315.84586	1357.7937	390.12259	339.84763	5040.2651
F	224	642.76215	345.89438	1455.1254	664.91644	367.84158	5312.5259
F	225	919.92474	344.82208	1407.2892	942.51282	361.06552	5203.9238
F	226	1194.7015	332.47562	1392.5144	1215.8671	349.65216	5152.6113
F	227	1468.1952	343.01111	1400.5144	1490.5228	359.57159	5250.3491
F	228	1741.0267	342.64456	1381.6296	1763.1659	356.22406	5265.2417
F	229	2012.1127	336.36877	1331.0322	2031.7117	347.31314	5065.1484
F	230	2281.8352	312.20212	1304.3196	2300.1243	315.89825	4925.0107
F	231	2548.1521	322.83069	1328.9111	2574.2002	338.44287	5177.0176
F	232	3427.7605	748.88898	11778.646	3373.8145	751.08130	25443.332
F	233	3341.8579	769.10303	782.33173	3368.3105	829.67749	1988.4054
F	234	2737.5535	152.41901	24.479731	3150.3191	681.99176	200.08522
F	235	1844.2516	50.561897	-7.1747065	423.26544	28.587116	7.2987761
F	236	2379.0435	19.879448	7.6292167	833.71515	1.3385221	-6.7454295
F	237	83.260826	26.215469	14.820757	1127.0748	46.727818	-9.9598713
F	238	566.11682	10.461402	13.254905	18142.062	-6655.3608	42020.172
F	239	877.52930	55.102112	7.4600811	987.74243	-6.5436258	13.355989
F	240	2144.3955	7.3118806	9.7717829	1580.3926	-25.813641	5.3147583

Tabella D.28: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga g (bands = $1 \div 2$ IR), posizioni boresight, G , F .

posizione di scan	sample	band=13 IR			band=14 IR		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	130	-433.66254	740.19061	132.14005	-727.01758	809.66162	1588.5135
B	131	-568.30066	736.37659	1659.7588	-551.34271	704.33551	5525.5845
B	132	-109.13628	369.59671	3591.9697	-329.68878	673.39099	8387.2510
B	133	226.85727	292.79996	2600.2712	246.81146	336.15503	3645.8496
B	134	489.09256	299.69449	2592.9414	507.22552	351.83636	3818.0186
B	135	746.14685	310.05008	2591.7808	765.00824	364.55698	3817.1663
B	136	1006.1478	309.54901	2561.4021	1024.7550	362.67361	3799.6140
B	137	1270.5510	313.15985	2523.5393	1290.8751	363.01553	3784.4485
B	138	1543.8287	316.37762	2522.4072	1562.8781	370.77573	3862.8420
B	139	1813.1963	324.48578	2558.3926	1831.9696	376.94122	4003.6499
B	140	2078.1448	309.02588	2537.2314	2095.3201	353.05878	3952.7354
B	141	2342.5862	305.21210	2444.9578	2356.1377	330.19009	3837.2087
B	142	2614.5610	306.51361	2265.8188	2636.5063	350.31717	3879.8010
B	143	3345.8835	801.14563	4782.2192	3392.5327	817.41461	10523.559
B	144	3401.1738	814.24921	970.15015	3460.5442	1005.4849	1241.4285
B	145	2714.9351	276.15381	18.466497	3033.9194	568.67255	154.73503
B	146	1712.3129	29.051052	-11.166408	3884.3821	2152.4175	66.781082
B	147	1748.8512	20.038822	5.3339510	3953.6665	-1365.2802	31.809183
B	148	2606.2034	52.217304	6.0973544	1567.8730	71.551300	-7.5952249
B	149	395.67557	17.853319	3.5358179	2101.6729	24.837158	-16.289043
B	150	2565.2703	21.497305	-9.8562679	2283.4250	23.181396	8.9302731
G	40	529.74872	29.438574	-115.25584	56.039032	46.011086	11.836353
G	41	-1021.5011	1159.5803	450.29758	-263.50195	560.45496	144.51408
G	42	-542.07410	662.33606	2164.4487	-593.88983	760.44421	2591.1270
G	43	-0.86417437	255.68202	4041.7622	-114.51923	428.24731	4323.4409
G	44	247.89531	291.49225	4127.0449	253.60706	312.22125	3295.6111
G	45	517.87805	287.87204	4096.6641	518.74744	318.72861	3510.2224
G	46	782.01276	292.49911	4056.0608	781.51514	323.98193	3549.4231
G	47	1044.7719	289.43140	4033.7610	1041.8252	320.64407	3513.3198
G	48	1309.7561	289.99268	4045.8411	1307.1162	320.64169	3447.0161
G	49	1572.6417	286.72171	4108.3003	1570.5935	317.97064	3443.8726
G	50	1835.7358	294.32227	4142.3813	1833.7733	325.99667	3417.9519
G	51	2099.7966	291.51132	4193.9800	2095.9231	320.52667	3323.6584
G	52	2361.8313	282.96252	4113.1226	2357.4678	302.81729	3178.8931
G	53	2621.3774	275.42184	3991.4077	2626.9041	312.16470	3125.1499
G	54	3073.6748	632.42352	2471.9729	3359.6084	825.00098	5101.6997
G	55	3347.7454	868.18292	671.71265	3431.8335	1025.4309	751.57941
G	56	2949.2556	737.92108	39.225929	3707.9800	1227.7771	290.31006
G	57	2523.5056	25.523531	17.041574	3878.4680	2128.0681	100.73127
G	58	2605.2441	85.937416	9.3384275	2702.1357	107.56239	24.108404
G	59	33525836.	-9330391.0	-2.2392571e+09	751.56586	24.376669	8.3348989
G	60	825.31458	20.194244	-5.2807035	533.16669	-14.472829	7.9730902
F	220	-112.28243	426.14484	106.95317	-615.42603	755.00409	3221.3840
F	221	-514.73834	843.93689	1133.9176	-351.18878	742.52600	4084.6108
F	222	73.222443	406.29025	878.20294	98.347267	384.23389	4354.1514
F	223	377.43445	341.72067	913.00885	393.48233	336.98273	4496.1655
F	224	651.46210	378.59619	984.38239	668.92267	372.02124	4761.8809
F	225	926.24438	382.75861	963.98041	945.50824	370.17307	4696.0439
F	226	1200.9177	366.72629	942.58905	1218.4478	354.38663	4619.5566
F	227	1474.2388	371.47174	963.46558	1493.3442	364.28967	4763.4487
F	228	1747.2312	374.30511	958.85736	1765.6426	362.18463	4696.8809
F	229	2018.2986	363.48151	913.58270	2034.5667	349.42474	4595.9873
F	230	2285.5669	331.13229	889.01312	2301.3953	316.63794	4417.7827
F	231	2552.6169	337.59863	911.17664	2578.4592	343.24524	4562.3965
F	232	3452.5295	808.62836	6709.6021	3415.6106	830.38202	18213.639
F	233	3128.4204	703.95337	256.34491	3304.2949	783.04828	1833.0001
F	234	2604.0576	112.20050	9.8029041	3587.0027	1034.2377	442.49371
F	235	2352.3220	6.2806187	24.082375	2617.4849	52.640285	8.4722309
F	236	567.53680	73.621078	6.9513531	1760.5023	27.968655	-9.8510981
F	237	439.57089	131.43906	-6.9762635	574.77844	47.244873	11.597219
F	238	2352.5635	33.411453	11.063701	1274.5424	29.442957	11.317097
F	239	1282.0728	21.775194	8.2877474	1276.2062	30.163551	8.1644115
F	240	1291.9548	27.877459	9.2238827	1282.8794	20.668488	6.3225012

Tabella D.29: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga h (bands = $13 \div 14$ IR), posizioni boresight, G, F.

posizione di scan	sample	band=38 IR			band=39 IR		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	130	-619.40552	771.92584	2167.2207	-758.02075	862.51660	3577.4648
B	131	-728.45190	853.16370	12514.215	-675.65216	799.85577	15145.155
B	132	-374.43988	655.38531	20907.189	-347.18472	625.05493	26303.838
B	133	254.89299	303.81949	6614.0449	253.66579	303.85004	8734.4932
B	134	513.53253	330.26364	6894.0342	512.05872	326.06979	9072.5996
B	135	773.34406	337.24731	6953.5303	773.17249	334.52328	9288.8633
B	136	1030.0255	338.12021	6954.9141	1029.0450	335.32077	9222.3018
B	137	1297.9003	344.18988	6809.0137	1296.9358	342.11441	9068.2891
B	138	1569.7743	348.24411	7098.4224	1567.8604	344.54550	9443.5029
B	139	1838.8926	354.87860	7184.7964	1837.9255	351.18262	9664.2764
B	140	2099.7954	335.27655	6992.2285	2098.8184	333.67374	9249.0371
B	141	2364.8884	311.05844	6812.5317	2364.9097	309.33951	9069.3604
B	142	2645.2722	337.06445	6794.7461	2641.8774	330.04501	8944.9873
B	143	3417.0400	895.87531	12860.690	3354.7349	862.61749	13927.453
B	144	3567.9380	964.62390	4168.5825	3556.2363	978.04919	4572.7793
B	145	3753.3555	1146.4491	1181.5077	3231.7554	820.30042	424.25427
B	146	3853.4214	1296.4246	242.53275	2774.8396	409.81036	26.042725
B	147	1814.7072	13.844937	-7.6436739	4016.7190	1975.3140	99.459137
B	148	2997.2412	417.98111	78.806595	2747.2410	548.59064	11.774910
B	149	227.43997	343.30597	2.7653391	1027.1394	36.605141	6.5068483
B	150	1876.0502	-6.7811446	31.743376	1829.8779	48.463997	8.3749981
G	40	-203.08513	511.38293	33.813290	-515.56567	762.38794	106.52150
G	41	-572.55493	781.47357	501.99167	-694.71429	926.74042	642.22003
G	42	-641.16986	760.16718	4907.7100	-737.40460	833.08710	6489.5430
G	43	-1.6655480	281.90320	5622.9341	-22.776308	320.56842	5214.3257
G	44	263.03940	291.80084	5634.7769	264.73581	298.72076	5089.7358
G	45	531.16425	290.31207	5747.1265	530.68365	300.81015	5301.3247
G	46	795.08160	296.50833	5746.8447	793.53815	307.70947	5321.6772
G	47	1057.6241	294.22714	5734.1851	1056.3717	305.93359	5343.9312
G	48	1321.6377	292.42572	5719.0747	1319.3896	302.83051	5293.1870
G	49	1584.5487	291.22092	5676.1772	1582.1050	302.03146	5254.4468
G	50	1848.4381	298.39618	5731.7026	1845.4438	310.89523	5203.6440
G	51	2111.6199	293.86832	5734.4946	2109.4624	304.65295	5181.8618
G	52	2373.9453	277.87369	5607.2095	2371.4756	285.40985	5024.1885
G	53	2634.3059	276.49948	5412.9922	2634.1311	288.08975	4871.9844
G	54	2989.9355	666.14563	1834.8003	3110.9128	764.13611	2486.3450
G	55	3375.1592	940.60553	1034.7582	3355.4355	934.41913	1050.1268
G	56	3249.1343	936.32190	157.18668	3547.9592	1087.6324	412.21640
G	57	3183.9861	1086.2761	38.413284	3631.5974	1309.7975	112.65338
G	58	2982.9226	1328.3788	30.039515	1920.9762	29.796228	-9.0305014
G	59	3301.6455	1813.2689	26.639647	2621.9731	42.022411	7.3622756
G	60	276.04608	32.385738	-10.796736	2220.4871	33.544437	7.7959652
F	220	-527.30713	737.21747	2010.4048	-652.87415	810.98169	4128.2891
F	221	-559.65961	882.62714	5773.9126	-611.82257	929.27386	8812.7344
F	222	108.97767	386.56921	3399.3625	109.60604	411.59583	4321.9570
F	223	402.47556	347.50385	3605.8813	406.39011	367.18805	4560.4019
F	224	677.08331	378.73654	3810.2786	681.31921	392.38358	4826.0835
F	225	953.43555	373.70862	3760.5764	958.17523	390.07980	4771.5806
F	226	1226.8131	359.46707	3717.9277	1232.0243	373.81061	4706.5972
F	227	1501.1918	369.99887	3784.9419	1505.9912	384.04776	4811.8994
F	228	1772.9302	370.04257	3788.5920	1777.4663	384.25732	4828.8516
F	229	2042.9854	357.57129	3647.9583	2045.9961	368.95709	4631.2349
F	230	2309.9038	322.85269	3534.5635	2313.0994	332.00098	4485.0723
F	231	2587.2261	349.74777	3680.2634	2589.6917	357.84988	4721.0859
F	232	3437.8274	826.32794	16331.320	3427.8474	823.97632	20882.352
F	233	3391.0183	877.29730	1623.9713	3445.2100	947.25800	2165.3662
F	234	3464.1116	954.81342	294.30972	3232.2600	813.43567	262.27698
F	235	2607.3992	70.506630	10.176228	3797.9775	1844.7626	91.096397
F	236	2725.8047	957.84888	20.109444	2779.0879	887.43103	24.608521
F	237	1556.8790	115.84941	-5.3471761	1301.5259	32.406647	12.465007
F	238	1273.8207	70.850510	8.6025820	560.18799	19.280081	7.1215262
F	239	1288.7999	13.162924	9.5542688	284.25244	27.012238	-11.240025
F	240	1282.1248	10.692599	13.088507	2148.1924	47.277714	7.3034172

Tabella D.30: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga i (bands = $38 \div 39$ IR), posizioni boresight, G, F.

posizione di scan	sample	band=74 IR			band=75 IR		
		centro	FWHM (μ rad)	max (DN)	centro	FWHM (μ rad)	max (DN)
B	130	-806.63782	964.85645	1015.9516	-627.67474	988.47101	289.29327
B	131	-623.01587	753.75031	6195.3340	-796.82208	907.20972	3230.2473
B	132	-210.84442	576.02917	5606.3716	-55.497917	392.21579	1951.9117
B	133	276.78149	312.70941	2985.9519	267.56329	296.97263	1682.0325
B	134	535.14905	342.77780	3103.6184	526.53668	318.76752	1742.3727
B	135	796.12451	346.38150	3198.3389	784.19208	328.60077	1731.6058
B	136	1053.1265	348.48227	3185.1514	1044.8219	328.43082	1704.6564
B	137	1322.0573	355.23694	3176.0049	1311.3583	331.32602	1707.0836
B	138	1592.3816	360.16699	3245.0244	1584.3458	339.08682	1746.9779
B	139	1861.6882	360.35233	3379.4297	1852.6672	343.92874	1776.7260
B	140	2122.8274	342.73309	3195.0793	2116.5920	323.40042	1736.6273
B	141	2387.4307	314.49170	3180.1580	2379.2556	307.48270	1668.9419
B	142	2684.0190	361.35315	3355.3259	2658.3123	324.12704	1670.0142
B	143	3387.6074	880.00189	4871.0093	3317.5554	851.02112	1896.8086
B	144	3198.8040	756.77905	548.42224	3927.6521	1222.7429	1598.4269
B	145	3554.6658	1009.7040	337.96448	3504.3191	1212.9357	62.683292
B	146	2631.5684	98.851837	12.048534	2607.4548	40.925137	4.8020186
B	147	2594.8145	35.777370	11.387825	1621.0376	37.798649	6.5946107
B	148	1828.1155	28.286926	-9.8657312	1054.0192	13.070312	-5.8120294
B	149	2352.7197	76.123283	3.3709280	1258.6171	44.609161	-5.9843130
B	150	2103.3845	31.919800	7.8573670	2577.4800	38.978275	17.979324
G	40	42.836536	105.44236	8.0475140	-530.59259	1053.1548	29.959400
G	41	-433.15286	768.09442	94.915062	-247.41002	526.80994	68.177528
G	42	-522.83209	748.34454	902.08362	-644.24023	736.16223	2128.5662
G	43	15.967587	296.00909	1588.4517	12.770391	286.88644	1809.9692
G	44	285.40555	293.62460	1667.9781	278.90753	290.68704	1862.8213
G	45	551.06519	296.05899	1705.4038	546.36310	290.40045	1871.7897
G	46	814.67395	297.58679	1692.6549	810.26263	296.15079	1879.5859
G	47	1077.2455	298.56146	1698.0219	1073.1355	293.51706	1883.5618
G	48	1340.9780	298.30594	1704.1644	1336.4520	291.78415	1869.8403
G	49	1603.8909	296.01779	1662.1536	1600.3425	290.78998	1852.5887
G	50	1867.0973	300.76685	1640.9879	1863.5759	298.42868	1876.9814
G	51	2130.5962	293.00171	1626.1478	2127.7974	292.36050	1876.4529
G	52	2392.0891	281.27136	1599.5020	2388.7898	275.38013	1828.0690
G	53	2653.1082	280.45947	1544.7135	2648.4661	273.06030	1759.6532
G	54	3238.3438	819.22729	862.46259	2822.3840	542.30219	338.41574
G	55	3404.1802	1060.2827	227.80249	3286.3540	817.72699	297.79935
G	56	3821.2202	1622.3275	94.751907	2615.5381	98.235184	15.176244
G	57	856.26166	133.33125	-7.6579237	2636.8171	26.913095	5.3628640
G	58	2555.6584	-23.196739	13.744555	2033.8292	56.789749	-7.6625938
G	59	1485.5330	140.29071	-3.5337307	846.50464	-21.742151	-12.492933
G	60	693.32312	36.081100	5.5482078	2487.5598	32.297165	-8.9874878
F	220	-519.83838	746.89508	891.85999	-424.39365	715.02997	429.89111
F	221	-635.68341	906.20050	3979.8228	-634.32196	894.51837	2818.4814
F	222	137.36095	383.21216	1453.1117	134.07074	405.15375	1017.6748
F	223	425.41656	360.91003	1558.3669	423.06143	376.39554	1097.4084
F	224	698.92725	383.01987	1663.3763	698.35883	398.15814	1145.9818
F	225	975.68958	374.32733	1639.7427	976.02246	388.32742	1132.3015
F	226	1249.5868	366.97281	1623.1088	1249.6018	377.96021	1129.8125
F	227	1524.3156	365.47836	1645.6475	1523.0586	385.94385	1147.9052
F	228	1793.8514	370.27872	1649.4078	1793.7119	383.85037	1143.8527
F	229	2064.5298	357.01096	1600.6639	2063.1514	368.41672	1106.8291
F	230	2331.2678	326.34140	1562.9385	2331.2349	336.55121	1075.0538
F	231	2608.7280	350.87854	1637.1139	2602.2810	349.34955	1131.4490
F	232	3374.3530	808.71033	4323.7163	3400.4717	769.94781	4915.7969
F	233	3795.0510	1168.8160	1199.6276	3345.4023	904.85455	324.40445
F	234	3214.3381	862.85852	62.472908	3567.0144	1509.5475	79.592651
F	235	83.876266	-240.82478	-0.062220275	55.659477	132.03613	3.9398637
F	236	474.79013	25.495296	-15.292484	2462.1055	0.80495280	4.2842264
F	237	2010.3118	-10.505583	-10.785110	1420.9399	24.052938	-5.7551355
F	238	2515.6660	105.99594	-3.9611375	1771.7058	35.911671	-6.8265090
F	239	1789.5117	15.958521	-11.914856	1268.4628	29.071869	22.462385
F	240	1448.2936	46.704327	-6.2454767	1785.0475	49.109100	-7.7992482

Tabella D.31: Risultati fit gaussiani per la misura della funzione di pixel: riga l (bands = $74 \div 75$ IR), posizioni boresight, G, F.

line	sin	cos	corrente	line	sin	cos	corrente	line	sin	cos	corrente
0	0.00000	0.00000	-0.00925000	41	-0.387300	0.921860	0.0193420	82	-0.211720	0.977290	0.00426100
1	0.00244000	0.999760	0.0380310	42	-0.383150	0.923570	0.0187150	83	-0.207330	0.978270	0.00398800
2	-0.542370	0.840050	0.0369760	43	-0.379000	0.925270	0.0184680	84	-0.202930	0.979000	0.00388300
3	-0.538460	0.842490	0.0362660	44	-0.374850	0.926980	0.0180050	85	-0.198290	0.979980	0.00351700
4	-0.534800	0.844930	0.0356780	45	-0.370700	0.928690	0.0176740	86	-0.193890	0.980950	0.00294800
5	-0.530890	0.847130	0.0350740	46	-0.366540	0.930160	0.0171430	87	-0.189500	0.981680	0.00255100
6	-0.526980	0.849570	0.0343840	47	-0.362150	0.931870	0.0167240	88	-0.185100	0.982660	0.00216700
7	-0.523320	0.852010	0.0338230	48	-0.358000	0.933580	0.0163550	89	-0.180710	0.983390	0.00182600
8	-0.519410	0.854210	0.0333830	49	-0.353850	0.935040	0.0160590	90	-0.176310	0.984130	0.00149400
9	-0.515510	0.856650	0.0327320	50	-0.349690	0.936750	0.0158500	91	-0.171920	0.984860	0.00113400
10	-0.511600	0.858850	0.0323740	51	-0.345540	0.938220	0.0152010	92	-0.167520	0.985840	0.000853000
11	-0.507940	0.861290	0.0318310	52	-0.341150	0.939930	0.0148150	93	-0.163130	0.986570	0.000468000
12	-0.504030	0.863490	0.0313780	53	-0.337000	0.941390	0.0145350	94	-0.158490	0.987300	0.000211000
13	-0.500120	0.865690	0.0309020	54	-0.332840	0.942860	0.0141550	95	-0.154090	0.987790	-0.000353000
14	-0.496210	0.868130	0.0303710	55	-0.328450	0.944320	0.0139550	96	-0.149690	0.988520	-0.000725000
15	-0.492310	0.870330	0.0299180	56	-0.324300	0.945790	0.0136580	97	-0.145300	0.989260	-0.000904000
16	-0.488400	0.872530	0.0296010	57	-0.319900	0.947250	0.0132720	98	-0.140660	0.989990	-0.00146800
17	-0.484490	0.874730	0.0290850	58	-0.315750	0.948720	0.0126330	99	-0.136260	0.990480	-0.00179100
18	-0.480590	0.876920	0.0286920	59	-0.311360	0.950180	0.0124720	100	-0.131870	0.991210	-0.00219800
19	-0.476430	0.878880	0.0280170	60	-0.307200	0.951400	0.0121240	101	-0.127470	0.991700	-0.00258800
20	-0.472530	0.881070	0.0275650	61	-0.302810	0.952870	0.0116350	102	-0.122830	0.992190	-0.00285100
21	-0.468620	0.883270	0.0271750	62	-0.298660	0.954330	0.0114800	103	-0.118440	0.992920	-0.00319400
22	-0.464710	0.885230	0.0268200	63	-0.294260	0.955660	0.0110580	104	-0.114040	0.993410	-0.00367000
23	-0.460560	0.887420	0.0265830	64	-0.290110	0.956780	0.0107040	105	-0.109650	0.993890	-0.00405000
24	-0.456650	0.889380	0.0260000	65	-0.285710	0.958240	0.0104350	106	-0.105010	0.994380	-0.00450600
25	-0.452500	0.891580	0.0257580	66	-0.281320	0.959460	0.0100280	107	-0.100610	0.994870	-0.00473800
26	-0.448600	0.893530	0.0252280	67	-0.276920	0.960680	0.00960200	108	-0.0962100	0.995120	-0.00502400
27	-0.444440	0.895480	0.0246650	68	-0.272770	0.961900	0.00929200	109	-0.0915800	0.995600	-0.00555700
28	-0.440540	0.897440	0.0241980	69	-0.268380	0.963130	0.00887100	110	-0.0871800	0.996090	-0.00573000
29	-0.436390	0.899630	0.0240700	70	-0.263980	0.964350	0.00850000	111	-0.0825400	0.996340	-0.00629600
30	-0.432480	0.901590	0.0235100	71	-0.259830	0.965570	0.00826800	112	-0.0781400	0.996830	-0.00651700
31	-0.428330	0.903540	0.0231990	72	-0.255430	0.966790	0.00807000	113	-0.0737500	0.997070	-0.00705700
32	-0.424420	0.905250	0.0226370	73	-0.251040	0.967770	0.00762800	114	-0.0691100	0.997560	-0.00743200
33	-0.420270	0.907200	0.0222490	74	-0.246640	0.968990	0.00724200	115	-0.0647100	0.997800	-0.00783600
34	-0.416120	0.909160	0.0220270	75	-0.242250	0.969960	0.00669700	116	-0.0603200	0.998050	-0.00806600
35	-0.411970	0.910870	0.0214220	76	-0.237850	0.971180	0.00634500	117	-0.0556800	0.998290	-0.00865000
36	-0.408060	0.912820	0.0210430	77	-0.233460	0.972160	0.00615700	118	-0.0512800	0.998530	-0.00902700
37	-0.403910	0.914770	0.0207150	78	-0.229060	0.973140	0.00577500	119	-0.0466400	0.998780	-0.00938000
38	-0.399760	0.916480	0.0203890	79	-0.224910	0.974360	0.00565200	120	-0.0422500	0.999020	-0.00979500
39	-0.395600	0.918190	0.0199080	80	-0.220510	0.975340	0.00516500	121	-0.0378500	0.999270	-0.0102920
40	-0.391450	0.920150	0.0196300	81	-0.216120	0.976310	0.00470000	122	-0.0332100	0.999270	-0.0106350

segue alla pagina successiva

segue dalla pagina precedente											
line	sin	cos	corrente	line	sin	cos	corrente	line	sin	cos	corrente
123	-0.0288200	0.999510	-0.0110930	168	0.172650	0.984860	-0.0306080	213	0.367030	0.929910	-0.0482960
124	-0.0241800	0.999510	-0.0113850	169	0.177050	0.984130	-0.0310520	214	0.371430	0.928450	-0.0482620
125	-0.0197800	0.999760	-0.0118860	170	0.181440	0.983150	-0.0315410	215	0.375580	0.926740	-0.0483140
126	-0.0151400	0.999760	-0.0121040	171	0.185840	0.982420	-0.0320390	216	0.379730	0.925030	-0.0483860
127	-0.0107400	0.999760	-0.0126170	172	0.190230	0.981680	-0.0324510	217	0.383880	0.923320	-0.0483570
128	-0.00635000	0.999760	-0.0129680	173	0.194630	0.980710	-0.0329660	218	0.388030	0.921610	-0.0483490
129	-0.00171000	0.999760	-0.0132570	174	0.199020	0.979730	-0.0334790	219	0.392190	0.919660	-0.0483660
130	0.00244000	0.999760	-0.0136900	175	0.203420	0.979000	-0.0339150	220	0.396340	0.917950	-0.0484060
131	0.00708000	0.999760	-0.0140390	176	0.208060	0.978020	-0.0344910	221	0.400490	0.916240	-0.0484290
132	0.01114800	0.999760	-0.0145820	177	0.212450	0.977050	-0.0349360	222	0.404400	0.914290	-0.0484620
133	0.0158700	0.999760	-0.0149860	178	0.216610	0.976070	-0.0355860	223	0.408550	0.912580	-0.0483830
134	0.0205100	0.999760	-0.0153260	179	0.221000	0.975090	-0.0360750	224	0.412700	0.910620	-0.0483870
135	0.0249100	0.999510	-0.0158170	180	0.225400	0.974110	-0.0365920	225	0.416850	0.908910	-0.0484520
136	0.0295500	0.999510	-0.0161480	181	0.229790	0.973140	-0.0370390	226	0.421000	0.906960	-0.0484580
137	0.0339400	0.999270	-0.0165440	182	0.234190	0.971920	-0.0375410	227	0.424910	0.905010	-0.0484030
138	0.0385800	0.999020	-0.0171010	183	0.238580	0.970940	-0.0379950	228	0.429060	0.903050	-0.0483780
139	0.0429800	0.999020	-0.0174180	184	0.242980	0.969960	-0.0383750	229	0.433210	0.901100	-0.0483950
140	0.0473700	0.998780	-0.0179910	185	0.247370	0.968740	-0.0391400	230	0.437120	0.899150	-0.0484240
141	0.0520100	0.998530	-0.0183490	186	0.251770	0.967770	-0.0395340	231	0.441270	0.897190	-0.0484210
142	0.0564100	0.998290	-0.0188390	187	0.256170	0.966540	-0.0401700	232	0.445180	0.895240	-0.0484460
143	0.0610500	0.998050	-0.0191800	188	0.260320	0.965320	-0.0405870	233	0.449330	0.893280	-0.0484180
144	0.0654500	0.997800	-0.0195700	189	0.264710	0.964100	-0.0410720	234	0.453240	0.891090	-0.0483890
145	0.0698400	0.997310	-0.0200380	190	0.269110	0.962880	-0.0416660	235	0.457390	0.889130	-0.0484100
146	0.0744800	0.997070	-0.0203750	191	0.273500	0.961660	-0.0422810	236	0.461290	0.887180	-0.0483570
147	0.0788800	0.996830	-0.0207910	192	0.277660	0.960440	-0.0427050	237	0.465200	0.884980	-0.0484000
148	0.0832700	0.996340	-0.0212410	193	0.282050	0.959220	-0.0431680	238	0.469110	0.882780	-0.0484290
149	0.0879100	0.996090	-0.0216730	194	0.286450	0.958000	-0.0438170	239	0.473260	0.880830	-0.0484390
150	0.0923100	0.995600	-0.0220050	195	0.290600	0.956780	-0.0443870	240	0.477170	0.878630	-0.0483710
151	0.0969500	0.995120	-0.0225380	196	0.294990	0.955310	-0.0449250	241	0.481070	0.876430	-0.0483380
152	0.101340	0.994630	-0.0229800	197	0.299390	0.954090	-0.0454270	242	0.484980	0.874240	-0.0483810
153	0.105740	0.994140	-0.0235000	198	0.303540	0.952630	-0.0460300	243	0.488890	0.872040	-0.0483280
154	0.110130	0.993650	-0.0240160	199	0.307940	0.951160	-0.0464620	244	0.492800	0.869840	-0.0484240
155	0.114770	0.993160	-0.0245040	200	0.312090	0.949940	-0.0470680	245	0.496700	0.867640	-0.0483980
156	0.119170	0.992670	-0.0248090	201	0.316480	0.948470	-0.0474420	246	0.500610	0.865450	-0.0483380
157	0.123570	0.992190	-0.0253550	202	0.320630	0.947010	-0.0476860	247	0.504520	0.863250	-0.0483610
158	0.128210	0.991700	-0.0258890	203	0.325030	0.945540	-0.0477370	248	0.508420	0.860810	-0.0483750
159	0.132600	0.990960	-0.0262670	204	0.329180	0.944080	-0.0478240	249	0.512330	0.858610	-0.0483670
160	0.137000	0.990480	-0.0267760	205	0.333330	0.942610	-0.0479590	250	0.516240	0.856170	-0.0484070
161	0.141390	0.989740	-0.0272060	206	0.337730	0.941150	-0.0480550	251	0.520150	0.853970	-0.0483250
162	0.146030	0.989260	-0.0276510	207	0.341880	0.939680	-0.0480080	252	0.523810	0.851530	-0.0483170
163	0.150430	0.988520	-0.0282130	208	0.346030	0.937970	-0.0480430	253	0.527720	0.849330	-0.0483320
164	0.154820	0.987790	-0.0287440	209	0.350430	0.936510	-0.0480900	254	0.531620	0.846890	-0.0483080
165	0.159220	0.987060	-0.0291540	210	0.354580	0.934800	-0.0482170	255	0.535290	0.844440	-0.0483200
166	0.163860	0.986320	-0.0295610	211	0.358730	0.933330	-0.0482420				
167	0.168250	0.985590	-0.0301060	212	0.362880	0.931620	-0.0482010				

Tabella D.33: Parametri elettrici del motore dello specchio di scansione M1 di VIRTIS-M: seno e coseno dell'angolo elettrico, corrente assorbita sulle lines=123÷255.

-1 VIS	-2 IR	-3 IR	-4 IR	-5 IR	-6 IR	-7 IR	-8 IR
0	=====	=====	=====	0	22:24	46:48	70:72
1	=====	=====	=====	0:1	23:25	47:49	71:73
2	=====	=====	=====	0:2	24:26	49:51	73:75
3	=====	=====	=====	1:3	25:27	50:52	75:77
4	=====	=====	=====	2:4	27:29	52:54	76:78
5	=====	=====	=====	3:5	28:30	53:55	78:80
6	=====	=====	=====	4:6	29:31	54:56	79:81
7	=====	=====	=====	5:7	30:32	56:58	81:83
8	=====	=====	=====	6:8	31:33	57:59	83:85
9	=====	=====	=====	7:9	33:35	59:61	84:86
10	=====	=====	=====	8:10	34:36	60:62	86:88
11	=====	=====	=====	9:11	35:37	61:63	87:89
12	=====	=====	=====	10:12	36:38	63:65	89:91
13	=====	=====	=====	11:13	37:39	64:66	91:93
14	=====	=====	=====	12:14	39:41	66:68	92:94
15	=====	=====	=====	13:15	40:42	67:69	94:96
16	=====	=====	=====	14:16	41:43	68:70	95:97
17	=====	=====	=====	15:17	42:44	70:72	97:99
18	=====	=====	=====	16:18	43:45	71:73	99:101
19	=====	=====	=====	17:19	45:47	73:75	100:102
20	=====	=====	=====	18:20	46:48	74:76	102:104
21	=====	=====	=====	19:21	47:49	75:77	103:105
22	=====	=====	=====	20:22	48:50	77:79	105:107
23	=====	=====	=====	21:23	50:52	78:80	107:109
24	=====	=====	=====	22:24	51:53	80:82	108:110
25	=====	=====	=====	23:25	52:54	81:83	110:112
26	=====	=====	=====	24:26	53:55	82:84	111:113
27	=====	=====	=====	25:27	54:56	84:86	113:115
28	=====	=====	=====	26:28	6:58	85:87	115:117
29	=====	=====	=====	27:29	57:59	87:89	116:118
30	=====	=====	0	28:30	58:60	88:90	118:120
31	=====	=====	0:1	29:31	59:61	89:91	119:121
32	=====	=====	0:2	30:32	60:62	91:93	121:123
33	=====	=====	1:3	31:33	62:64	92:94	123:125
34	=====	=====	1:3	32:34	63:65	94:96	124:126
35	=====	=====	2:4	33:35	64:66	95:97	126:128
36	=====	=====	3:5	34:36	65:67	96:98	127:129
37	=====	=====	4:6	35:37	66:68	98:100	129:131
38	=====	=====	5:7	36:38	68:70	99:101	131:133
39	=====	=====	5:7	37:39	69:71	101:103	132:134
40	=====	=====	6:8	38:40	70:72	102:104	134:136
41	=====	=====	7:9	39:41	71:73	103:105	135:137
42	=====	=====	8:10	40:42	72:74	105:107	137:139
43	=====	=====	9:11	41:43	74:76	106:108	139:141
44	=====	=====	9:11	42:44	75:77	108:110	140:142
45	=====	=====	10:12	43:45	76:78	109:111	142:144
46	=====	=====	11:13	44:46	77:79	110:112	143:145
47	=====	=====	12:14	45:47	78:80	112:114	145:147
48	=====	=====	13:15	46:48	80:82	113:115	147:149
49	=====	=====	13:15	47:49	81:83	115:117	148:150
50	=====	=====	14:16	48:50	82:84	116:118	150:152
51	=====	=====	15:17	49:51	83:85	117:119	151:153
52	=====	=====	16:18	50:52	84:86	119:121	153:155
53	=====	=====	17:19	51:53	86:88	120:122	155:157
54	=====	=====	17:19	52:54	87:89	122:124	156:158
55	=====	=====	18:20	53:55	88:90	123:125	158:160

segue alla pagina successiva

Tabella D.34: Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands=0 ÷ 55.

<i>continua dalla pagina precedente</i>							
-1 VIS	-2 IR	-3 IR	-4 IR	-5 IR	-6 IR	-7 IR	-8 IR
56	=====	=====	19:21	54:56	89:91	124:126	159:161
57	=====	=====	20:22	55:57	90:92	126:128	161:163
58	=====	=====	21:23	56:58	92:94	127:129	163:165
59	=====	=====	21:23	57:59	93:95	129:131	164:166
60	=====	=====	22:24	58:60	94:96	130:132	166:168
61	=====	=====	23:25	59:61	95:97	131:133	167:169
62	=====	=====	24:26	60:62	96:98	133:135	169:171
63	=====	=====	25:27	61:63	98:100	134:136	171:173
64	=====	=====	25:27	62:64	99:101	136:138	172:174
65	=====	=====	26:28	63:65	100:102	137:139	174:176
66	=====	=====	27:29	64:66	101:103	138:140	175:177
67	=====	=====	28:30	65:67	102:104	140:142	177:179
68	=====	=====	29:31	66:68	104:106	141:143	179:181
69	=====	=====	29:31	67:69	105:107	143:145	180:182
70	=====	=====	30:32	68:70	106:108	144:146	182:184
71	=====	=====	31:33	69:71	107:109	145:147	183:185
72	=====	=====	32:34	70:72	108:110	147:149	185:187
73	=====	=====	33:35	71:73	110:112	148:150	187:189
74	=====	=====	33:35	72:74	111:113	150:152	188:190
75	=====	=====	34:36	73:75	112:114	151:153	190:192
76	=====	=====	35:37	74:76	113:115	152:154	192:194
77	=====	=====	36:38	75:77	115:117	154:156	193:195
78	=====	=====	37:39	76:78	116:118	155:157	195:197
79	=====	0	37:39	77:79	117:119	157:159	196:198
80	=====	0	38:40	78:80	118:120	158:160	198:200
81	=====	0:1	39:41	79:81	119:121	159:161	200:202
82	=====	0:2	40:42	80:82	121:123	161:163	201:203
83	=====	0:2	41:43	81:83	122:124	162:164	203:205
84	=====	1:3	41:43	82:84	123:125	164:166	204:206
85	=====	1:3	42:44	83:85	124:126	165:167	206:208
86	=====	2:4	43:45	84:86	125:127	166:168	208:210
87	=====	3:4	44:46	85:87	127:129	168:170	209:211
88	=====	3:5	45:47	86:88	128:130	169:171	211:213
89	=====	4:6	45:47	87:89	129:131	171:173	212:214
90	=====	4:6	46:48	88:90	130:132	172:174	214:216
91	=====	5:7	47:49	89:91	131:133	173:175	216:218
92	=====	6:8	48:50	90:92	133:135	175:177	217:219
93	=====	6:8	49:51	91:93	134:136	176:178	219:221
94	=====	7:9	49:51	92:94	135:137	178:180	220:222
95	=====	7:9	50:52	93:95	136:138	179:181	222:224
96	=====	8:10	51:53	94:96	137:139	180:182	224:226
97	=====	9:11	52:54	95:97	139:141	182:184	225:227
98	=====	9:11	53:55	96:98	140:142	183:185	227:229
99	=====	10:12	53:55	97:99	141:143	185:187	228:230
100	=====	10:12	54:56	98:100	142:144	186:188	230:232
101	=====	11:13	55:57	99:101	143:145	187:189	232:234
102	=====	12:14	56:58	100:102	145:147	189:191	233:235
103	=====	12:14	57:59	101:103	146:148	190:192	235:237
104	=====	13:15	57:59	102:104	147:149	192:194	236:238
105	=====	13:15	58:60	103:105	148:150	193:195	238:240
106	=====	14:16	59:61	104:106	149:151	194:196	240:242
107	=====	15:17	60:62	105:107	151:153	196:198	241:243
108	=====	15:17	61:63	106:108	152:154	197:199	243:245
109	=====	16:18	61:63	107:109	153:155	199:201	244:246
110	=====	16:18	62:64	108:110	154:156	200:202	246:248
<i>segue alla pagina successiva</i>							

Tabella D.35: Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands=56 ÷ 110.

continua dalla pagina precedente							
-1 VIS	-2 IR	-3 IR	-4 IR	-5 IR	-6 IR	-7 IR	-8 IR
111	=====	17:19	63:65	109:111	155:157	201:203	248:250
112	=====	18:20	64:66	110:112	157:159	203:205	249:251
113	=====	18:20	65:67	111:113	158:160	204:206	251:253
114	=====	19:21	65:67	112:114	159:161	206:208	252:254
115	=====	19:21	66:68	113:115	160:162	207:209	254:256
116	=====	20:22	67:69	114:116	161:163	208:210	256:258
117	=====	21:23	68:70	115:117	163:165	210:212	257:259
118	=====	21:23	69:71	116:118	164:166	211:213	259:261
119	=====	22:24	69:71	117:119	165:167	213:215	260:262
120	=====	22:24	70:72	118:120	166:168	214:216	262:264
121	=====	23:25	71:73	119:121	167:169	215:217	264:266
122	=====	24:26	72:74	120:122	169:171	217:219	265:267
123	=====	24:26	73:75	121:123	170:172	218:220	267:269
124	=====	25:27	73:75	122:124	171:173	220:222	268:270
125	=====	25:27	74:76	123:125	172:174	221:223	270:272
126	=====	26:28	75:77	124:126	174:176	222:224	272:274
127	=====	27:29	76:78	125:127	175:177	224:226	273:275
128	=====	27:29	77:79	126:128	176:178	225:227	275:277
129	=====	28:30	77:79	127:129	177:179	227:229	276:278
130	=====	29:31	78:80	128:130	178:180	228:230	278:280
131	=====	29:31	79:81	129:131	180:182	229:231	280:282
132	=====	30:32	80:82	130:132	181:183	231:233	281:283
133	=====	30:32	81:83	131:133	182:184	232:234	283:285
134	=====	31:33	81:84	132:134	183:185	234:236	284:286
135	=====	32:34	82:84	133:135	184:186	235:237	286:288
136	=====	32:34	83:85	134:136	186:188	236:238	288:290
137	=====	33:35	84:86	135:137	187:189	238:240	289:291
138	=====	33:35	85:87	136:138	188:190	239:241	291:293
139	=====	34:36	86:88	137:139	189:191	241:243	292:294
140	=====	35:37	86:88	138:140	190:192	242:244	294:296
141	=====	35:37	87:89	139:141	192:194	243:245	296:298
142	=====	36:38	88:90	140:142	193:195	245:247	297:299
143	=====	36:38	89:91	141:143	194:196	246:248	299:301
144	=====	37:39	90:92	142:144	195:197	248:250	300:302
145	=====	38:40	90:92	143:145	196:198	249:251	302:304
146	=====	38:40	91:93	144:146	198:200	250:252	304:306
147	=====	39:41	92:94	145:147	199:201	252:254	305:307
148	=====	39:41	93:95	146:148	200:202	253:255	307:309
149	=====	40:42	94:96	147:149	201:203	255:257	308:310
150	=====	41:43	94:96	148:150	202:204	256:258	310:312
151	=====	41:43	95:97	149:151	204:206	257:259	312:314
152	=====	42:44	96:98	150:152	205:207	259:261	313:315
153	=====	42:44	97:99	151:153	206:208	260:262	315:317
154	=====	43:45	98:100	152:154	207:209	262:264	316:318
155	=====	44:46	98:100	153:155	208:210	263:265	318:320
156	=====	44:46	99:101	154:156	210:212	264:266	320:322
157	=====	45:47	100:102	155:157	211:213	266:268	321:323
158	=====	45:47	101:103	156:158	212:214	267:269	323:325
159	=====	46:48	102:104	157:159	213:215	269:271	324:326
160	=====	47:49	102:104	158:160	214:216	270:272	326:328
161	=====	47:49	103:105	159:161	216:218	271:273	328:330
162	=====	48:50	104:106	160:162	217:219	273:275	329:331
163	=====	48:50	105:107	161:163	218:220	274:276	331:333
164	=====	49:51	106:108	162:164	219:221	276:278	332:334
165	=====	50:52	106:108	163:165	220:222	277:279	334:336
segue alla pagina successiva							

Tabella D.36: Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands=111 ÷ 165.

continua dalla pagina precedente							
-1 VIS	-2 IR	-3 IR	-4 IR	-5 IR	-6 IR	-7 IR	-8 IR
166	=====	50:52	107:109	164:166	222:224	278:280	336:338
167	=====	51:53	108:110	165:167	223:225	280:282	337:339
168	=====	51:53	109:111	166:168	224:226	281:283	339:341
169	=====	52:54	110:112	167:169	225:227	283:285	340:342
170	=====	53:55	110:112	168:170	226:228	284:286	342:344
171	=====	53:55	111:113	169:171	228:230	285:287	344:346
172	=====	54:56	112:114	170:172	229:231	287:289	345:347
173	=====	54:56	113:115	171:173	230:232	288:290	347:349
174	=====	55:57	114:116	172:174	231:233	290:292	348:350
175	=====	56:58	114:116	173:175	232:234	291:293	350:352
176	=====	56:58	115:117	174:176	234:236	292:294	352:354
177	=====	57:59	116:118	175:177	235:237	294:296	353:355
178	0	57:59	117:119	176:178	236:238	295:297	355:357
179	0	58:60	118:120	177:179	237:239	297:299	356:358
180	0:1	59:61	118:120	178:180	239:241	298:300	358:360
181	0:1	59:61	119:121	179:181	240:242	299:301	360:362
182	0:1	60:62	120:122	180:182	241:243	301:303	361:363
183	0:2	60:62	121:123	181:183	242:244	302:304	363:365
184	0:2	61:63	122:124	182:184	243:245	304:306	364:366
185	1:3	62:64	122:124	183:185	245:247	305:307	366:368
186	1:3	62:64	123:125	184:186	246:248	306:308	368:370
187	1:3	63:65	124:126	185:187	247:249	308:310	369:371
188	2:4	63:65	125:127	186:188	248:250	309:311	371:373
189	2:4	64:66	126:128	187:189	249:251	311:313	372:375
190	3:5	65:67	126:128	188:190	251:253	312:314	374:376
191	3:5	65:67	127:129	189:191	252:254	313:315	376:378
192	3:5	66:68	128:130	190:192	253:255	315:317	377:379
193	4:6	66:68	129:131	191:193	254:256	316:318	379:381
194	4:6	67:69	130:132	192:194	255:257	318:320	381:383
195	5:7	68:70	130:132	193:195	257:259	319:321	382:384
196	5:7	68:70	131:133	194:196	258:260	320:322	384:386
197	5:7	69:71	132:134	195:197	259:261	322:324	385:387
198	6:8	69:71	133:135	196:198	260:262	323:325	387:389
199	6:8	70:72	134:136	197:199	261:263	325:327	389:391
200	7:9	71:73	134:136	198:200	263:265	326:328	390:392
201	7:9	71:73	135:137	199:201	264:266	327:329	392:394
202	7:9	72:74	136:138	200:202	265:267	329:331	393:395
203	8:10	72:74	137:139	201:203	266:268	330:332	395:397
204	8:10	73:75	138:140	202:204	267:269	332:334	397:399
205	9:11	74:76	138:140	203:205	269:271	333:335	398:400
206	9:11	74:76	139:141	204:206	270:272	334:336	400:402
207	9:11	75:77	140:142	205:207	271:273	336:338	401:403
208	10:12	75:77	141:143	206:208	272:274	337:339	403:405
209	10:12	76:78	142:144	207:209	273:275	339:341	405:407
210	11:13	77:79	142:144	208:210	275:277	340:342	406:408
211	11:13	77:79	143:145	209:211	276:278	341:343	408:410
212	11:13	78:80	144:146	210:212	277:279	343:345	409:411
213	12:14	78:80	145:147	211:213	278:280	344:346	411:413
214	12:14	79:81	146:148	212:214	279:281	346:348	413:415
215	13:15	80:82	146:148	213:215	281:283	347:349	414:416
216	13:15	80:82	147:149	214:216	282:284	348:350	416:418
217	13:15	81:83	148:150	215:217	283:285	350:352	417:419
218	14:16	81:83	149:151	216:218	284:286	351:353	419:421
219	14:16	82:84	150:152	217:219	285:287	353:355	421:423
220	15:17	83:85	150:152	218:220	287:289	354:356	422:424
segue alla pagina successiva							

Tabella D.37: Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands=166 ÷ 220.

continua dalla pagina precedente							
-1 VIS	-2 IR	-3 IR	-4 IR	-5 IR	-6 IR	-7 IR	-8 IR
221	15:17	83:85	151:153	219:221	288:290	355:357	424:426
222	15:17	84:86	152:154	220:222	289:291	357:359	425:427
223	16:18	84:86	153:155	221:223	290:292	358:360	427:429
224	16:18	85:87	154:156	222:224	291:293	360:362	429:431
225	17:19	86:88	154:156	223:225	293:295	361:363	430:432
226	17:19	86:88	155:157	224:226	294:296	362:364	432:434
227	17:19	87:89	156:158	225:227	295:297	364:366	433:435
228	18:20	87:89	157:159	226:228	296:298	365:367	435
229	18:20	88:90	158:160	227:229	297:299	367:369	=====
230	19:21	89:91	158:160	228:230	299:301	368:370	=====
231	19:21	89:91	159:161	229:231	300:302	369:371	=====
232	19:21	90:92	160:162	230:232	301:303	371:373	=====
233	20:22	91:93	161:163	231:233	302:304	372:374	=====
234	20:22	91:93	162:164	232:234	304:306	374:376	=====
235	21:23	92:94	162:164	233:235	305:307	375:377	=====
236	21:23	92:94	163:165	234:236	306:308	376:378	=====
237	21:23	93:95	164:166	235:237	307:309	378:380	=====
238	22:24	94:96	165:167	236:238	308:310	379:381	=====
239	22:24	94:96	166:168	237:239	310:312	381:383	=====
240	23:25	95:97	166:168	238:240	311:313	382:384	=====
241	23:25	95:97	167:169	239:241	312:314	383:385	=====
242	23:25	96:98	168:170	240:242	313:315	385:387	=====
243	24:26	97:99	169:171	241:243	314:316	386:388	=====
244	24:26	97:99	170:172	242:244	316:318	388:390	=====
245	25:27	98:100	170:172	243:245	317:319	389:391	=====
246	25:27	98:100	171:173	244:246	318:320	390:392	=====
247	25:27	99:101	172:174	245:247	319:321	392:394	=====
248	26:28	100:102	173:175	246:248	320:322	393:395	=====
249	26:28	100:102	174:176	247:249	322:324	395:397	=====
250	27:29	101:103	174:176	248:250	323:325	396:398	=====
251	27:29	101:103	175:177	249:251	324:326	397:399	=====
252	27:29	102:104	176:178	250:252	325:327	399:401	=====
253	28:30	103:105	177:179	251:253	326:328	400:402	=====
254	28:30	103:105	178:180	252:254	328:330	402:404	=====
255	29:31	104:106	178:180	253:255	329:331	403:405	=====
256	29:31	104:106	179:181	254:256	330:332	404:406	=====
257	29:31	105:107	180:182	255:257	331:333	406:408	=====
258	30:32	106:108	181:183	256:258	332:334	407:409	=====
259	30:32	106:108	182:184	257:259	334:336	409:411	=====
260	31:33	107:109	182:184	258:260	335:337	410:412	=====
261	31:33	107:109	183:185	259:261	336:338	411:413	=====
262	31:33	108:110	184:186	260:262	337:339	413:415	=====
263	32:34	109:111	185:187	261:263	338:340	414:416	=====
264	32:34	109:111	186:188	262:264	340:342	416:418	=====
265	33:35	110:112	186:188	263:265	341:343	417:419	=====
266	33:35	110:112	187:189	264:266	342:344	418:420	=====
267	33:35	111:113	188:190	265:267	343:345	420:422	=====
268	34:36	112:114	189:191	266:268	344:346	421:423	=====
269	34:36	112:114	190:192	267:269	346:348	423:425	=====
270	35:37	113:115	190:192	268:270	347:349	424:426	=====
271	35:37	113:115	191:193	269:271	348:350	425:427	=====
272	35:37	114:116	192:194	270:272	349:351	427:429	=====
273	36:38	115:117	193:195	271:273	350:352	428:430	=====
274	36:38	115:117	194:196	272:274	352:354	430:432	=====
275	37:39	116:118	194:196	273:275	353:355	431:433	=====
segue alla pagina successiva							

Tabella D.38: Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands=221 ÷ 275.

continua dalla pagina precedente							
-1 VIS	-2 IR	-3 IR	-4 IR	-5 IR	-6 IR	-7 IR	-8 IR
276	37:39	116:118	195:197	274:276	354:356	432:434	=====
277	37:39	117:119	196:198	275:277	355:357	434:435	=====
278	38:40	118:120	197:199	276:278	356:358	435	=====
279	38:40	118:120	198:200	277:279	358:360	=====	=====
280	39:41	119:121	198:200	278:280	359:361	=====	=====
281	39:41	119:121	199:201	279:281	360:362	=====	=====
282	39:41	120:122	200:202	280:282	361:363	=====	=====
283	40:42	121:123	201:203	281:283	363:365	=====	=====
284	40:42	121:123	202:204	282:284	364:366	=====	=====
285	41:43	122:124	202:204	283:285	365:367	=====	=====
286	41:43	122:124	203:205	284:286	366:368	=====	=====
287	41:43	123:125	204:206	285:287	367:369	=====	=====
288	42:44	124:126	205:207	286:288	369:371	=====	=====
289	42:44	124:126	206:208	287:289	370:372	=====	=====
290	43:45	125:127	206:208	288:290	371:373	=====	=====
291	43:45	125:127	207:209	289:291	372:374	=====	=====
292	43:45	126:128	208:210	290:292	373:375	=====	=====
293	44:46	127:129	209:211	291:293	375:377	=====	=====
294	44:46	127:129	210:212	292:294	376:378	=====	=====
295	45:47	128:130	210:212	293:295	377:379	=====	=====
296	45:47	128:130	211:213	294:296	378:380	=====	=====
297	45:47	129:131	212:214	295:297	379:381	=====	=====
298	46:48	130:132	213:215	296:298	381:383	=====	=====
299	46:48	130:132	214:216	297:299	382:384	=====	=====
300	47:49	131:133	214:216	298:300	383:385	=====	=====
301	47:49	131:133	215:217	299:301	384:386	=====	=====
302	47:49	132:134	216:218	300:302	385:387	=====	=====
303	48:50	133:135	217:219	301:303	387:389	=====	=====
304	48:50	133:135	218:220	302:304	388:390	=====	=====
305	49:51	134:136	218:220	303:305	389:391	=====	=====
306	49:51	134:136	219:221	304:306	390:392	=====	=====
307	49:51	135:137	220:222	305:307	391:393	=====	=====
308	50:52	136:138	221:223	306:308	393:395	=====	=====
309	50:52	136:138	222:224	307:309	394:396	=====	=====
310	51:53	137:139	222:224	308:310	395:397	=====	=====
311	51:53	137:139	223:225	309:311	396:398	=====	=====
312	51:53	138:140	224:226	310:312	397:399	=====	=====
313	52:54	139:141	225:227	311:313	399:401	=====	=====
314	52:54	139:141	226:228	312:314	400:402	=====	=====
315	53:55	140:142	226:228	313:315	401:403	=====	=====
316	53:55	140:142	227:229	314:316	402:404	=====	=====
317	53:55	141:143	228:230	315:317	403:405	=====	=====
318	54:56	142:144	229:231	316:318	405:407	=====	=====
319	54:56	142:144	230:232	317:319	406:408	=====	=====
320	55:57	143:145	230:232	318:320	407:409	=====	=====
321	55:57	143:145	231:233	319:321	408:410	=====	=====
322	55:57	144:146	232:234	320:322	409:411	=====	=====
323	56:58	145:147	233:235	321:323	411:413	=====	=====
324	56:58	145:147	234:236	322:324	412:414	=====	=====
325	57:59	146:148	234:236	323:325	413:415	=====	=====
326	57:59	146:148	235:237	324:326	414:416	=====	=====
327	57:59	147:149	236:238	325:327	415:417	=====	=====
328	58:60	148:150	237:239	326:328	417:419	=====	=====
329	58:60	148:150	238:240	327:329	418:420	=====	=====
330	59:61	149:151	238:240	328:330	419:421	=====	=====
segue alla pagina successiva							

Tabella D.39: Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands=276 ÷ 330.

continua dalla pagina precedente							
-1 VIS	-2 IR	-3 IR	-4 IR	-5 IR	-6 IR	-7 IR	-8 IR
331	59:61	149:151	239:241	329:331	420:422	=====	=====
332	59:61	150:152	240:242	330:332	421:423	=====	=====
333	60:62	151:153	241:243	331:333	423:425	=====	=====
334	60:62	151:153	242:244	332:334	424:426	=====	=====
335	61:63	152:154	242:244	333:335	425:427	=====	=====
336	61:63	153:155	243:245	334:336	426:428	=====	=====
337	62:64	153:155	244:246	335:337	428:430	=====	=====
338	62:64	154:156	245:247	336:338	429:431	=====	=====
339	62:64	154:156	246:248	337:339	430:432	=====	=====
340	63:65	155:157	246:248	338:340	431:433	=====	=====
341	63:65	156:158	247:249	339:341	432:434	=====	=====
342	64:66	156:158	248:250	340:342	434:435	=====	=====
343	64:66	157:159	249:251	341:343	435	=====	=====
344	64:66	157:159	250:252	342:344	=====	=====	=====
345	65:67	158:160	250:252	343:345	=====	=====	=====
346	65:67	159:161	251:253	344:346	=====	=====	=====
347	66:68	159:161	252:254	345:347	=====	=====	=====
348	66:68	160:162	253:255	346:348	=====	=====	=====
349	66:68	160:162	254:256	347:349	=====	=====	=====
350	67:69	161:163	254:256	348:350	=====	=====	=====
351	67:69	162:164	255:257	349:351	=====	=====	=====
352	68:70	162:164	256:258	350:352	=====	=====	=====
353	68:70	163:165	257:259	351:353	=====	=====	=====
354	68:70	163:165	258:260	352:354	=====	=====	=====
355	69:71	164:166	258:260	353:355	=====	=====	=====
356	69:71	165:167	259:261	354:356	=====	=====	=====
357	70:72	165:167	260:262	355:357	=====	=====	=====
358	70:72	166:168	261:263	356:358	=====	=====	=====
359	70:72	166:168	262:264	357:359	=====	=====	=====
360	71:73	167:169	262:264	358:360	=====	=====	=====
361	71:73	168:170	263:265	359:361	=====	=====	=====
362	72:74	168:170	264:266	360:362	=====	=====	=====
363	72:74	169:171	265:267	361:363	=====	=====	=====
364	72:74	169:171	266:268	362:364	=====	=====	=====
365	73:75	170:172	266:268	363:365	=====	=====	=====
366	73:75	171:173	267:269	364:366	=====	=====	=====
367	74:76	171:173	268:270	365:367	=====	=====	=====
368	74:76	172:174	269:271	366:368	=====	=====	=====
369	74:76	172:174	270:272	367:369	=====	=====	=====
370	75:77	173:175	270:273	368:370	=====	=====	=====
371	75:77	174:176	271:273	369:371	=====	=====	=====
372	76:78	174:176	272:274	370:372	=====	=====	=====
373	76:78	175:177	273:275	371:373	=====	=====	=====
374	76:78	175:177	274:276	372:374	=====	=====	=====
375	77:79	176:178	275:277	373:375	=====	=====	=====
376	77:79	177:179	275:277	374:376	=====	=====	=====
377	78:80	177:179	276:278	375:377	=====	=====	=====
378	78:80	178:180	277:279	376:378	=====	=====	=====
379	78:80	178:180	278:280	377:379	=====	=====	=====
380	79:81	179:181	279:281	378:380	=====	=====	=====
381	79:81	180:182	279:281	379:381	=====	=====	=====
382	80:82	180:182	280:282	380:382	=====	=====	=====
383	80:82	181:183	281:283	381:383	=====	=====	=====
384	80:82	181:183	282:284	382:384	=====	=====	=====
385	81:83	182:184	283:285	383:385	=====	=====	=====
segue alla pagina successiva							

Tabella D.40: Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands=331 ÷ 385.

<i>continua dalla pagina precedente</i>							
-1 VIS	-2 IR	-3 IR	-4 IR	-5 IR	-6 IR	-7 IR	-8 IR
386	81:83	183:185	283:285	384:386	=====	=====	=====
387	82:84	183:185	284:286	385:387	=====	=====	=====
388	82:84	184:186	285:287	386:388	=====	=====	=====
389	82:84	184:186	286:288	387:389	=====	=====	=====
390	83:85	185:187	287:289	388:390	=====	=====	=====
391	83:85	186:188	287:289	389:391	=====	=====	=====
392	84:86	186:188	288:290	390:392	=====	=====	=====
393	84:86	187:189	289:291	391:393	=====	=====	=====
394	84:86	187:189	290:292	392:394	=====	=====	=====
395	85:87	188:190	291:293	393:395	=====	=====	=====
396	85:87	189:191	291:293	394:396	=====	=====	=====
397	86:88	189:191	292:294	395:397	=====	=====	=====
398	86:88	190:192	293:295	396:398	=====	=====	=====
399	86:88	190:192	294:296	397:399	=====	=====	=====
400	87:89	191:193	295:297	398:400	=====	=====	=====
401	87:89	192:194	295:297	399:401	=====	=====	=====
402	88:90	192:194	296:298	400:402	=====	=====	=====
403	88:90	193:195	297:299	401:403	=====	=====	=====
404	88:90	193:195	298:300	402:404	=====	=====	=====
405	89:91	194:196	299:301	403:405	=====	=====	=====
406	89:91	195:197	299:301	404:406	=====	=====	=====
407	90:92	195:197	300:302	405:407	=====	=====	=====
408	90:92	196:198	301:303	406:408	=====	=====	=====
409	90:92	196:198	302:304	407:409	=====	=====	=====
410	91:93	197:199	303:305	408:410	=====	=====	=====
411	91:93	198:200	303:305	409:411	=====	=====	=====
412	92:94	198:200	304:306	410:412	=====	=====	=====
413	92:94	199:201	305:307	411:413	=====	=====	=====
414	92:94	199:201	306:308	412:414	=====	=====	=====
415	93:95	200:202	307:309	413:415	=====	=====	=====
416	93:95	201:203	307:309	414:416	=====	=====	=====
417	94:96	201:203	308:310	415:417	=====	=====	=====
418	94:96	202:204	309:311	416:418	=====	=====	=====
419	94:96	202:204	310:312	417:419	=====	=====	=====
420	95:97	203:205	311:313	418:420	=====	=====	=====
421	95:97	204:206	311:313	419:421	=====	=====	=====
422	96:98	204:206	312:314	420:422	=====	=====	=====
423	96:98	205:207	313:315	421:423	=====	=====	=====
424	96:98	205:207	314:316	422:424	=====	=====	=====
425	97:99	206:208	315:317	423:425	=====	=====	=====
426	97:99	207:209	315:317	424:426	=====	=====	=====
427	98:100	207:209	316:318	425:427	=====	=====	=====
428	98:100	208:210	317:319	426:428	=====	=====	=====
429	98:100	208:210	318:320	427:429	=====	=====	=====
430	99:101	209:211	319:321	428:430	=====	=====	=====
431	99:101	210:212	319:321	429:431	=====	=====	=====
432	100:102	210:212	320:322	430:432	=====	=====	=====
433	100:102	211:213	321:323	431:433	=====	=====	=====
434	100:102	211:213	322:324	432:434	=====	=====	=====
435	101:103	212:214	323:325	433:435	=====	=====	=====
436	101:103	212:214	324:326	434:436	=====	=====	=====
437	102:104	213:215	325:327	435:437	=====	=====	=====

Tabella D.41: *Posizione degli ordini superiori del reticolo IR sul piano focale VIS nell'intervallo spettrale bands=386 ÷ 437.*

BAND	DN -1 VIS -5 IR	DN -2 IR	DN -3 IR	DN -4 IR	DN -6 IR	DN -7 IR	DN-8 IR
78	354.62398	0.0	0.0	24.788858	31.424452	22.247687	0.0
79	839.89101	0.0	0.0	22.147155	27.094173	26.868085	0.0
80	754.51351	0.0	0.0	22.089322	24.303883	19.247467	0.0
81	614.52147	0.0	0.0	20.134272	19.521095	14.312886	0.0
82	530.94467	0.0	0.0	13.732707	14.762264	12.314250	0.0
83	362.17677	0.0	0.0	11.247080	12.192711	8.6558822	0.0
84	288.94151	0.0	7.3050876	10.998416	8.2002516	6.7572926	0.0
85	306.92398	0.0	7.5053771	10.175401	6.4099235	6.7090543	0.0
86	323.32447	0.0	8.8029239	7.3034582	6.2833216	6.3066715	0.0
87	345.30516	0.0	9.4256493	9.4788593	5.5619292	7.0564233	0.0
88	365.33301	0.0	9.1986677	10.547795	6.6102130	6.1612593	0.0
89	387.05898	0.0	11.068898	11.693291	4.2909912	6.7839847	0.0
90	404.39300	0.0	9.2708168	12.517935	4.3615109	7.7323587	0.0
91	421.27309	0.0	11.519519	13.536829	2.2676413	3.6933285	0.0
92	439.06093	0.0	11.546211	14.392576	3.6650069	0.0	0.0
93	459.34010	0.0	12.290953	12.167731	2.8919962	0.0	0.0
94	482.23098	0.0	13.763810	13.015726	3.3897870	0.0	0.0
95	507.71953	0.0	14.632282	12.392576	5.3409878	0.0	0.0
96	534.20151	0.0	22.489750	16.084661	6.3598815	0.0	0.0
97	558.91648	0.0	30.920325	14.339366	6.7090543	0.0	0.0
98	589.24092	0.0	15.676329	14.859438	6.0563399	0.0	0.0
99	619.39283	0.0	19.103260	14.781165	6.2628440	0.0	0.0
100	646.56784	0.0	17.774610	18.208096	7.1580080	0.0	0.0
101	678.38965	0.0	18.895126	17.549341	6.1063820	0.0	0.0
102	692.07388	0.0	19.651055	18.852928	5.6885312	0.0	0.0
103	697.86424	0.0	18.269195	20.123866	7.2817376	0.0	0.0
104	718.66580	0.0	20.719990	18.496177	8.0531721	0.0	0.0
105	751.44127	0.0	19.513357	20.920280	7.2285277	0.0	0.0
106	797.55006	0.0	24.636920	20.668319	10.851337	0.0	0.0
107	858.46524	0.0	24.986002	24.913853	10.198622	0.0	0.0
108	909.66849	0.0	26.273992	27.281874	12.492956	0.0	0.0
109	977.15726	0.0	29.848138	27.048769	13.168891	0.0	0.0
110	1053.2064	0.0	31.481830	31.170573	14.541368	0.0	0.0
111	1123.7524	0.0	30.511910	35.133044	15.812223	0.0	0.0
112	1193.8323	0.0	34.089262	35.212946	16.686818	0.0	0.0
113	1270.4695	0.0	35.372242	34.613654	19.078189	0.0	0.0
114	1348.0774	0.0	40.017461	38.546181	19.849624	0.0	0.0
115	1432.3675	0.0	42.743264	39.017416	22.918559	0.0	0.0
116	1523.7633	0.0	47.223799	41.745061	24.014187	0.0	0.0
117	1611.4975	0.0	51.945577	46.211536	26.484771	0.0	0.0
118	1688.5550	0.0	51.100243	51.471553	28.552122	0.0	0.0
119	1757.2264	0.0	56.353750	51.585309	34.940325	0.0	0.0
120	1809.4388	0.0	54.679096	52.514919	36.135863	0.0	0.0
121	1859.8727	0.0	58.264466	55.141024	37.539830	0.0	0.0
122	1913.2031	0.0	62.043994	55.740400	39.902364	0.0	0.0
123	1959.7340	0.0	62.564885	57.856460	44.789949	0.0	0.0
124	2011.4182	0.0	65.953133	59.383739	48.178107	0.0	0.0
125	2056.7725	0.0	66.895119	62.083199	51.298714	0.0	0.0
126	2171.9243	0.0	70.576033	64.680983	52.620634	0.0	0.0
127	3101.0098	0.0	94.338479	88.258471	0.0	0.0	0.0
128	3987.2376	0.0	110.60557	105.39034	0.0	0.0	0.0
129	4353.1963	0.0	121.85343	104.81712	0.0	0.0	0.0
130	4633.4659	0.0	130.08079	110.88302	0.0	0.0	0.0
131	4886.4892	0.0	133.42895	116.63148	0.0	0.0	0.0
132	5112.4743	0.0	141.34699	124.54082	0.0	0.0	0.0
133	5316.4817	0.0	145.34910	129.87739	0.0	0.0	0.0

segue alla pagina successiva

Tabella D.42: Intensità del segnale sull'ordine principale VIS e sugli ordini superiori IR nell'intervallo spettrale bands=78 ÷ 133.

continua dalla pagina precedente							
BAND	DN -1 VIS -5 IR	DN -2 IR	DN -3 IR	DN -4 IR	DN -6 IR	DN -7 IR	DN-8 IR
134	5496.6851	0.0	157.44641	134.03933	0.0	0.0	0.0
135	5664.5748	0.0	172.26949	141.88180	0.0	0.0	0.0
136	5818.9124	0.0	176.25496	149.95566	0.0	0.0	0.0
137	5963.4376	0.0	192.12459	162.43018	0.0	0.0	0.0
138	6150.3006	0.0	195.56936	171.98769	0.0	0.0	0.0
139	6333.9490	0.0	213.16331	182.36162	0.0	0.0	0.0
140	6539.1790	0.0	235.37022	187.59062	0.0	0.0	0.0
141	6777.4701	0.0	237.91763	200.15126	0.0	0.0	0.0
142	7014.4641	0.0	259.94362	214.09976	0.0	0.0	0.0
143	7260.8290	0.0	266.10637	225.08411	0.0	0.0	0.0
144	7546.8929	0.0	287.23448	237.77272	0.0	0.0	0.0
145	7876.7937	0.0	314.28191	243.31418	0.0	0.0	0.0
146	8223.3952	0.0	317.90825	256.40205	0.0	0.0	0.0
147	8588.9436	0.0	342.78840	270.02866	0.0	0.0	0.0
148	8966.5395	0.0	338.46798	279.14440	0.0	0.0	0.0
149	9349.8365	0.0	362.48362	291.18916	0.0	0.0	0.0
150	9726.5873	0.0	391.67340	293.77469	0.0	0.0	0.0
151	10101.721	0.0	389.74067	311.70348	0.0	0.0	0.0
152	10417.141	0.0	416.93494	323.38655	0.0	0.0	0.0
153	10688.126	0.0	409.73042	334.06778	0.0	0.0	0.0
154	10946.304	0.0	439.85762	343.96565	0.0	0.0	0.0
155	11166.458	0.0	468.69184	342.24870	0.0	0.0	0.0
156	11402.518	0.0	461.58569	357.40751	0.0	0.0	0.0
157	11626.143	0.0	488.72386	370.05600	0.0	0.0	0.0
158	11861.912	0.0	479.93620	379.95735	0.0	0.0	0.0
159	12023.431	0.0	509.10876	386.73248	0.0	0.0	0.0
160	12212.199	0.0	536.85801	389.64960	0.0	0.0	0.0
161	12464.431	0.0	530.74069	408.18991	0.0	0.0	0.0
162	12816.210	0.0	562.13780	419.51893	0.0	0.0	0.0
163	13243.247	0.0	553.80314	433.89879	0.0	0.0	0.0
164	13737.296	0.0	582.41072	445.76921	0.0	0.0	0.0
165	14290.568	0.0	616.79065	448.34736	0.0	0.0	0.0
166	14886.703	0.0	609.51459	462.49781	0.0	0.0	0.0
167	15494.506	0.0	650.24491	481.56454	0.0	0.0	0.0
168	16074.788	0.0	636.75441	498.63460	0.0	0.0	0.0
169	16639.360	0.0	671.10670	514.30009	0.0	0.0	0.0
170	17222.359	0.0	705.12663	516.38460	0.0	0.0	0.0
171	17813.671	0.0	691.73707	537.71769	0.0	0.0	0.0
172	18393.047	0.0	728.19293	560.27950	0.0	0.0	0.0
173	19034.783	0.0	705.72574	575.06349	0.0	0.0	0.0
174	19678.852	0.0	743.33546	579.73578	0.0	0.0	0.0
175	20297.852	0.0	780.65978	587.93972	0.0	0.0	0.0
176	20930.820	0.0	760.02686	605.41358	8.8778543	3.0157258	1.1221457
177	21564.469	0.0	801.95745	619.44516	10.644870	4.6400731	0.37406119
178	22208.332	0.0	783.22482	636.63850	12.397411	3.0922857	0.89516404
179	22838.420	0.0	818.42635	653.00074	13.317638	3.2427074	2.1971216
180	23450.473	0.0	847.48751	650.69706	17.287778	3.0673063	2.1954922
181	24031.477	0.0	822.85316	662.59614	17.948291	3.9153006	5.4631790
182	24634.823	0.0	860.60281	687.29774	19.580482	3.6167686	8.1064199
183	25272.655	0.0	832.21175	704.88730	19.898461	9.5270976	5.8122608
184	25873.632	0.0	862.07266	715.28050	24.169914	6.3333636	8.7057954
185	26417.633	693.39277	895.84342	722.61111	31.796588	14.266148	14.092414
186	26848.747	666.65180	864.73937	746.41962	49.897953	29.749161	23.984198
187	27223.743	657.91660	890.88191	773.10816	97.363277	55.941614	51.077856
188	27436.405	667.28488	857.86070	800.32901	190.47618	124.36928	115.76571
189	27584.864	647.11530	881.48413	823.56440	362.70824	244.00229	219.21569
segue alla pagina successiva							

Tabella D.43: Intensità del segnale sull'ordine principale VIS e sugli ordini superiori IR nell'intervallo spettrale bands=134 ÷ 189.

continua dalla pagina precedente							
BAND	DN -1 VIS -5 IR	DN -2 IR	DN -3 IR	DN -4 IR	DN -6 IR	DN -7 IR	DN-8 IR
190	27834.662	663.14392	908.22812	824.24103	532.78584	359.64182	309.66793
191	28072.831	626.92871	864.71694	837.73724	571.44006	380.44133	323.48560
192	28323.439	629.58245	903.56980	866.89424	567.29337	374.55539	310.80392
193	28432.473	641.73139	870.93742	875.43357	545.56088	358.09273	294.41976
194	28565.369	620.88764	902.95114	884.82364	531.66633	339.13579	282.26422
195	28780.880	628.18099	926.07663	875.19911	513.65670	333.53170	275.11347
196	29049.563	580.95041	878.61287	859.10909	490.50760	309.10525	244.62585
197	29313.787	560.03791	892.99511	852.04154	469.62730	284.18001	226.57249
198	29602.773	566.34860	867.78289	867.89931	478.32697	292.66263	229.92035
199	29934.043	565.09134	911.74348	883.87358	502.48819	312.01070	249.20882
200	30206.166	573.70493	939.03630	886.64085	518.50543	323.20708	254.82952
201	30381.375	547.79132	904.13238	893.89134	534.59500	330.79119	261.07417
202	30518.258	551.70087	944.70762	912.84265	570.71388	362.56829	283.46748
203	30648.174	530.28402	883.15102	895.39250	580.84746	350.31941	273.71021
204	30891.241	515.24622	915.45397	898.88320	610.33677	367.04596	282.65505
205	31098.892	522.49219	946.69104	902.88230	636.99415	373.44355	290.23407
206	31175.986	506.50233	918.09995	928.47887	650.76679	384.62276	294.93607
207	31160.588	486.18774	945.46641	912.98541	630.94972	365.56913	265.69753
208	31321.795	500.07004	910.37426	930.57438	633.56053	363.78098	267.58953
209	31528.770	477.26034	937.69167	912.72353	619.82202	347.24342	254.69212
210	31722.506	483.70242	953.81820	900.04455	603.28159	333.12358	240.80195
211	31785.518	470.24074	933.73659	900.91839	605.16607	337.93198	233.94514
212	31797.539	482.91059	976.47222	917.88366	615.48396	346.94587	237.11414
213	31771.839	486.00128	945.72595	918.79862	619.68168	353.49280	230.37079
214	31723.778	471.05642	974.53460	911.52337	614.06338	345.37115	221.41791
215	31632.726	469.14574	983.58389	893.48135	590.98149	327.45429	192.93961
216	31589.758	449.20622	949.73350	887.27491	578.23810	315.13943	172.26200
217	31618.193	446.85562	989.82897	888.27672	573.44236	314.01529	166.36956
218	31618.679	443.49931	947.59496	882.57427	557.05102	302.74689	146.21829
219	31681.856	441.50708	980.58474	875.53945	552.59628	300.61847	146.28616
220	31704.641	441.53066	998.34025	865.75506	540.67339	282.41824	127.31527
221	31683.087	444.26572	978.28025	886.34366	547.02083	290.61381	136.70229
222	31469.773	433.29252	1007.5287	891.81332	532.49002	282.59183	129.26475
223	31161.135	433.78048	955.29586	879.09716	512.58545	266.60514	117.76584
224	30711.848	425.36341	1001.1885	872.44087	509.81561	269.02802	117.50622
225	27886.428	444.30366	1020.0633	861.71231	511.79461	266.19342	110.47288
226	14470.759	407.04047	957.65500	836.87453	466.61495	242.68501	85.597087
227	11066.897	403.45518	986.37092	844.24600	458.25078	239.18944	85.435949
228	23320.923	400.72952	940.20221	831.97257	453.67904	231.38820	72.893815
229	29673.650	376.06923	950.69501	811.13124	439.37868	218.35711	0.0
230	30639.326	393.54040	969.01793	811.87397	438.04440	224.22472	0.0
231	30925.351	401.24092	959.87878	841.62104	455.88925	243.23303	0.0
232	31137.686	401.45966	984.00521	846.82388	462.76414	249.17014	0.0
233	31307.561	398.48563	977.72048	832.06891	454.18635	244.99178	0.0
234	31507.427	386.20683	959.45956	826.26061	451.82086	239.36011	0.0
235	31673.630	394.76565	967.14395	825.75428	451.44546	236.97134	0.0
236	31853.954	384.72833	926.31327	829.71262	447.85446	235.99781	0.0
237	32029.746	375.17754	946.44347	832.43819	444.32782	235.52886	0.0
238	32191.986	384.58374	949.00415	824.10913	443.34811	230.49456	0.0
239	32102.188	369.60124	925.11230	808.54729	429.48929	225.78082	0.0
240	31809.589	370.75921	921.74642	797.53840	412.04125	209.48775	0.0
241	31422.967	350.25641	875.28718	787.86776	389.79535	198.74279	0.0
242	30922.922	336.72922	887.44144	779.52185	386.59475	202.85187	0.0
243	30388.442	343.53352	882.57459	761.00063	377.91444	199.61645	0.0
244	29981.191	328.34742	839.13839	730.48028	367.13924	190.00839	0.0
245	29463.195	336.11647	831.07618	714.40378	351.83697	182.74995	0.0

segue alla pagina successiva

Tabella D.44: Intensità del segnale sull'ordine principale VIS e sugli ordini superiori IR nell'intervallo spettrale bands=190 ÷ 245.

<i>continua dalla pagina precedente</i>							
BAND	DN -1 VIS -5 IR	DN -2 IR	DN -3 IR	DN -4 IR	DN -6 IR	DN -7 IR	DN-8 IR
246	28935.831	317.34914	787.09166	693.72607	337.89424	170.99198	0.0
247	28909.970	324.02816	817.60689	701.30525	344.47784	184.09977	0.0
248	29181.506	320.02701	814.03467	683.14068	330.89316	170.81049	0.0
249	29411.978	308.46339	798.21298	672.73913	316.96796	165.97009	0.0
250	29563.903	330.49683	817.98824	683.31679	325.55643	176.66711	0.0
251	29633.630	324.64922	797.19030	680.83967	328.95045	173.50824	0.0
252	29651.337	322.77103	816.18642	674.45377	327.02067	176.95295	0.0
253	29651.802	329.50207	809.60618	668.86976	320.90421	173.25341	0.0
254	29655.475	327.11033	798.81710	657.19647	323.71290	173.28019	0.0
255	29726.307	344.13373	812.63565	677.71366	328.97928	179.99017	0.0
256	29653.646	339.99784	785.94440	678.64947	331.90944	191.78260	0.0
257	29641.531	345.78213	800.73826	687.55807	346.59030	196.64695	0.0
258	29332.968	294.81834	747.50205	626.97542	285.36471	148.05867	0.0
259	29069.783	317.35702	757.64679	647.43239	325.40152	174.10452	0.0
260	28789.857	342.41991	769.75798	662.21557	337.89266	186.08431	0.0
261	28357.545	305.39138	701.35200	618.78930	301.38919	158.93303	0.0
262	27843.089	281.44100	690.28977	586.57961	281.41022	137.90745	0.0
263	27355.042	300.15068	682.93671	585.36941	290.90865	137.80480	0.0
264	26871.525	310.28647	676.49383	582.02113	305.28773	153.51659	0.0
265	26349.019	301.84567	656.66613	562.06928	292.28090	136.99116	0.0
266	25812.055	269.87429	606.60495	528.28915	270.79843	113.96661	0.0
267	25257.038	262.23924	604.95544	512.84143	267.11551	109.57674	0.0
268	24668.938	266.56376	589.02972	498.90985	263.26015	104.59704	0.0
269	23988.811	244.67132	563.90270	468.54414	246.27573	86.069300	0.0
270	23231.625	245.27184	551.88311	456.04981	239.89111	77.376736	0.0
271	22376.942	241.24550	519.26791	438.67653	229.04709	78.362473	0.0
272	21485.515	236.65398	521.22187	424.90939	231.08397	83.299873	0.0
273	20432.752	229.60088	496.50014	420.72477	218.78736	72.353167	0.0
274	19395.341	215.01691	474.33976	379.37626	212.46169	69.509371	0.0
275	18420.083	210.77853	450.30125	359.21400	189.98919	58.651994	0.0
276	17546.343	92.32251	409.13285	332.66104	175.35502	47.737512	0.0
277	16766.067	191.59762	409.26013	325.88806	172.21779	50.304284	0.0
278	16086.644	187.51503	390.85889	312.08493	173.42576	42.248930	0.0
279	15472.641	167.90935	359.85271	290.01958	157.23217	0.0	0.0
280	14918.572	173.41978	351.01093	278.87935	152.09412	0.0	0.0
281	14379.962	164.48378	331.94478	264.89981	151.06077	0.0	0.0
282	13821.237	152.66203	317.59438	246.59941	143.94878	0.0	0.0
283	13182.984	132.87501	280.15221	208.81938	117.33267	0.0	0.0
284	12524.153	124.27353	264.37148	195.13173	109.73337	0.0	0.0
285	11850.033	140.85704	271.57270	207.49565	122.77677	0.0	0.0
286	11143.244	122.23034	241.26031	183.12131	103.75063	0.0	0.0
287	10495.542	106.09726	217.02728	159.44172	86.693647	0.0	0.0
288	9898.9818	122.03308	235.43195	173.66578	111.10475	0.0	0.0
289	9316.5229	107.59779	218.00492	155.76173	99.909192	0.0	0.0
290	8776.7959	103.80373	200.09890	144.64014	84.851139	0.0	0.0
291	8291.9689	95.435108	176.50417	134.89808	82.766046	0.0	0.0
292	7823.3780	89.978135	158.81671	127.98355	76.099144	0.0	0.0
293	7365.3839	73.558875	132.18631	98.713745	54.923372	0.0	0.0
294	6987.7973	78.505491	137.41334	104.06792	60.628910	0.0	0.0
295	6582.8314	68.637352	117.47311	85.696246	49.681513	0.0	0.0
296	6219.7517	68.333599	111.66166	80.227315	45.460867	0.0	0.0
297	5901.0479	85.979538	134.72727	112.00139	67.836308	0.0	0.0
298	5548.3078	69.123919	111.70514	84.070323	57.508310	0.0	0.0
299	5222.3448	60.864031	101.28501	79.506120	48.130982	0.0	0.0
300	4954.3878	79.951891	116.79722	90.229028	62.032444	0.0	0.0
<i>segue alla pagina successiva</i>							

Tabella D.45: *Intensità del segnale sull'ordine principale VIS e sugli ordini superiori IR nell'intervallo spettrale bands=246 ÷ 300.*

continua dalla pagina precedente							
BAND	DN -1 VIS -5 IR	DN -2 IR	DN -3 IR	DN -4 IR	DN -6 IR	DN -7 IR	DN-8 IR
301	4716.9044	87.164139	118.61405	96.860833	65.638027	0.0	0.0
302	4490.3325	68.714920	98.561368	84.344610	50.323519	0.0	0.0
303	4300.4381	53.863675	77.241305	66.916642	37.283034	0.0	0.0
304	4162.1360	52.495995	77.293856	66.557397	37.589917	0.0	0.0
305	4037.8828	56.080243	81.703507	71.413728	40.350249	0.0	0.0
306	3919.9970	52.996741	77.211908	67.860916	38.559921	0.0	0.0
307	3689.6551	47.370802	72.697519	64.346103	39.413955	0.0	0.0
308	2940.4589	47.225602	60.230422	47.860689	39.380200	0.0	0.0
309	2884.0126	43.940568	58.011982	43.941439	36.760127	0.0	0.0
310	2839.6311	49.206875	60.000697	44.340109	39.135856	0.0	0.0
311	2803.4724	45.181600	57.912633	41.125670	37.779021	0.0	0.0
312	2783.0486	45.864046	57.808130	27.232855	33.863121	0.0	0.0
313	2776.2909	47.530682	58.304201	20.174848	36.811798	0.0	0.0
314	2781.6236	46.544392	55.365308	27.208573	33.963592	0.0	0.0
315	2797.1567	49.327134	59.360329	37.853671	33.068428	0.0	0.0
316	2822.6316	46.744856	54.967427	42.296107	32.844826	0.0	0.0
317	2860.1341	45.059280	55.960007	46.060978	31.199827	0.0	0.0
318	2893.4681	45.238153	57.608728	44.541421	30.630524	0.0	0.0
319	2938.7222	46.521133	58.308710	45.565878	30.252052	0.0	0.0
320	3003.7729	48.278941	57.409128	46.612161	32.121683	0.0	0.0
321	3092.6650	47.447574	58.174620	49.652775	32.639952	0.0	0.0
322	3206.5109	50.073468	58.037984	52.668410	34.742817	0.0	0.0
323	3323.9017	55.508499	64.389840	55.688031	37.380071	0.0	0.0
324	3459.8001	52.246815	63.866229	56.810086	36.982698	0.0	0.0
325	3587.1114	55.620103	68.513964	60.571850	38.153044	0.0	0.0
326	3676.1560	59.119145	67.916066	63.244526	36.652464	0.0	0.0
327	3739.7277	57.780938	72.467703	60.200524	39.006048	0.0	0.0
328	3816.4070	60.526067	77.238054	64.366066	36.704136	0.0	0.0
329	3899.6293	61.497753	75.689425	69.457874	36.317213	0.0	0.0
330	4003.2459	65.263314	81.730024	71.751790	34.381481	0.0	0.0
331	4099.0363	65.640172	80.574912	76.064335	35.511470	0.0	0.0
332	4211.1175	67.118894	84.847464	76.079925	36.383322	0.0	0.0
333	4324.1708	71.522907	84.870079	75.769608	35.408218	0.0	0.0
334	4429.2794	72.072157	84.693927	77.482596	32.771139	0.0	0.0
335	4562.7370	76.837884	89.635693	81.271143	37.629198	0.0	0.0
336	4720.0111	78.186466	90.402997	86.338062	37.359419	0.0	0.0
337	4884.0839	84.520246	95.091679	86.112703	33.968692	0.0	0.0
338	5064.4499	83.330506	97.013861	90.551797	34.137364	0.0	0.0
339	5276.5507	84.153400	97.687932	93.792185	33.869760	0.0	0.0
340	5513.6385	92.321639	102.35276	95.861401	33.096787	0.0	0.0
341	5756.1279	94.222381	101.58285	103.72198	35.408218	0.0	0.0
342	5998.9346	102.70076	112.01058	109.23614	33.494161	0.0	0.0
343	6241.7247	107.05513	115.22071	110.47678	25.843371	0.0	0.0
344	6480.6506	106.88732	123.27995	117.73688	0.0	0.0	0.0
345	6707.5104	115.39038	129.01525	124.12456	0.0	0.0	0.0
346	6946.1834	120.89666	126.48599	128.73185	0.0	0.0	0.0
347	7171.4012	129.26283	134.32382	133.84846	0.0	0.0	0.0
348	7412.1496	133.28543	133.91893	137.96344	0.0	0.0	0.0
349	7677.1418	138.27545	142.95277	147.98768	0.0	0.0	0.0
350	7954.9265	145.11526	150.76291	152.50300	0.0	0.0	0.0
351	8260.0978	150.66383	154.32113	159.75140	0.0	0.0	0.0
352	8585.6874	165.97490	164.79951	166.56617	0.0	0.0	0.0
353	8948.3216	171.01151	170.98873	174.37397	0.0	0.0	0.0
354	9339.5178	175.30054	178.99207	181.18057	0.0	0.0	0.0
355	9742.4642	191.62426	188.26076	191.87716	0.0	0.0	0.0

segue alla pagina successiva

Tabella D.46: Intensità del segnale sull'ordine principale VIS e sugli ordini superiori IR nell'intervallo spettrale bands=301 ÷ 355.

<i>continua dalla pagina precedente</i>							
BAND	DN -1 VIS -5 IR	DN -2 IR	DN -3 IR	DN -4 IR	DN -6 IR	DN -7 IR	DN-8 IR
356	10139.438	194.12712	194.32170	205.46984	0.0	0.0	0.0
357	10552.866	212.30850	206.86855	208.98043	0.0	0.0	0.0
358	10947.168	214.27289	215.60542	220.53293	0.0	0.0	0.0
359	11349.860	220.01867	224.70342	229.93345	0.0	0.0	0.0
360	11739.894	236.49493	238.06875	243.52603	0.0	0.0	0.0
361	12215.300	241.85934	240.33687	245.56753	0.0	0.0	0.0
362	12640.600	260.87576	257.32493	258.49134	0.0	0.0	0.0
363	12969.820	266.69894	265.42407	266.53884	0.0	0.0	0.0
364	13290.608	268.76356	277.65335	276.78458	0.0	0.0	0.0
365	13607.424	288.23683	283.23623	292.10443	0.0	0.0	0.0
366	13905.617	289.27131	288.02382	297.05060	0.0	0.0	0.0
367	14216.297	305.33905	302.71888	308.09091	0.0	0.0	0.0
368	14525.098	308.46124	306.23223	315.51393	0.0	0.0	0.0
369	14841.748	310.43036	316.46095	322.30715	0.0	0.0	0.0
370	15217.445	332.27610	324.33726	335.37774	0.0	0.0	0.0
371	15655.570	328.79873	328.04276	342.63302	0.0	0.0	0.0
372	16088.414	347.50876	341.39641	353.15997	0.0	0.0	0.0
373	16520.897	348.91394	348.37374	357.51851	0.0	0.0	0.0
374	16910.189	349.05328	356.25669	365.25124	0.0	0.0	0.0
375	17210.282	369.79294	367.21195	371.20804	0.0	0.0	0.0
376	17437.684	365.88158	365.89936	383.30844	0.0	0.0	0.0
377	17607.779	383.64528	382.44307	389.42770	0.0	0.0	0.0
378	17697.353	379.01858	388.05512	394.00272	0.0	0.0	0.0
379	17888.658	379.51602	398.76974	396.75228	0.0	0.0	0.0
380	17915.026	402.84172	399.97195	407.87591	0.0	0.0	0.0
381	17925.952	400.81284	404.88818	423.95671	0.0	0.0	0.0
382	17691.358	412.98058	412.10304	424.68780	0.0	0.0	0.0
383	17470.622	409.82015	407.30931	423.05812	0.0	0.0	0.0
384	17329.861	406.24732	417.16759	424.28278	0.0	0.0	0.0
385	17160.291	421.32225	418.61010	427.07185	0.0	0.0	0.0
386	16989.827	412.66148	414.85940	434.33361	0.0	0.0	0.0
387	16846.715	429.74122	423.64633	434.48310	0.0	0.0	0.0
388	16686.471	424.60016	417.48039	433.73916	0.0	0.0	0.0
389	16481.209	422.50571	423.94048	429.76588	0.0	0.0	0.0
390	16237.349	435.38973	422.89659	427.69736	0.0	0.0	0.0
391	15983.852	425.70793	417.25630	428.97308	0.0	0.0	0.0
392	15692.767	436.97314	424.81788	425.83150	0.0	0.0	0.0
393	15445.952	428.76765	410.14852	416.72586	0.0	0.0	0.0
394	15197.279	419.20060	419.38134	408.32441	0.0	0.0	0.0
395	14974.305	432.23160	415.98386	403.38669	0.0	0.0	0.0
396	14729.614	417.95189	404.96363	410.29602	0.0	0.0	0.0
397	14400.399	432.91868	410.18152	397.56578	0.0	0.0	0.0
398	14071.655	422.38826	399.30002	391.16556	0.0	0.0	0.0
399	13696.523	410.42744	401.55296	381.13886	0.0	0.0	0.0
400	13385.789	420.38335	395.31362	376.09845	0.0	0.0	0.0
401	13074.184	409.69863	387.27519	375.82415	0.0	0.0	0.0
402	12763.230	417.37045	385.41506	369.37003	0.0	0.0	0.0
403	12450.720	401.61223	371.99112	359.21603	0.0	0.0	0.0
404	12151.404	386.49318	369.99775	348.54047	0.0	0.0	0.0
405	11856.534	394.92003	361.79607	339.41613	0.0	0.0	0.0
406	11559.860	381.32785	346.80233	332.96084	0.0	0.0	0.0
407	11239.938	388.56786	344.96249	322.60368	0.0	0.0	0.0
408	10873.086	374.83636	333.06427	310.78039	0.0	0.0	0.0
409	10524.209	359.72965	331.28888	300.18923	0.0	0.0	0.0
410	10144.571	368.01537	325.18619	288.58634	0.0	0.0	0.0
<i>segue alla pagina successiva</i>							

Tabella D.47: *Intensità del segnale sull'ordine principale VIS e sugli ordini superiori IR nell'intervallo spettrale bands=356 ÷ 410.*

continua dalla pagina precedente							
BAND	DN -1 VIS -5 IR	DN -2 IR	DN -3 IR	DN -4 IR	DN -6 IR	DN -7 IR	DN-8 IR
411	9795.2637	350.89591	308.21691	283.74820	0.0	0.0	0.0
412	9409.6152	352.03397	308.92255	269.15831	0.0	0.0	0.0
413	9018.5931	339.13825	300.11169	258.81336	0.0	0.0	0.0
414	8188.3163	320.64170	285.84171	241.30734	0.0	0.0	0.0
415	7742.4184	323.62701	280.30891	229.33724	0.0	0.0	0.0
416	7354.4963	307.38085	265.05521	223.77577	0.0	0.0	0.0
417	6982.8757	305.36961	269.54564	217.40971	0.0	0.0	0.0
418	6641.2400	295.16421	256.07536	205.26678	0.0	0.0	0.0
419	6307.6191	282.50267	247.60294	195.41762	0.0	0.0	0.0
420	5995.9708	279.14962	233.57393	182.62279	0.0	0.0	0.0
421	5679.7668	271.02603	223.43133	175.28859	0.0	0.0	0.0
422	5350.4785	265.61786	219.99111	163.00145	0.0	0.0	0.0
423	5037.3465	255.19712	208.59272	151.31874	0.0	0.0	0.0
424	4730.7261	248.98158	205.35344	144.52026	0.0	0.0	0.0
425	4434.4446	242.98960	198.10895	137.26504	0.0	0.0	0.0
426	4169.2818	235.97436	191.13425	130.05564	0.0	0.0	0.0
427	3900.8241	230.63162	185.37467	116.83396	0.0	0.0	0.0
428	3626.0963	226.12957	176.49268	108.68037	0.0	0.0	0.0
429	3341.2278	224.28946	169.63704	98.529894	0.0	0.0	0.0
430	3046.7855	213.04609	163.47700	93.093324	0.0	0.0	0.0
431	2738.6283	210.12742	152.32425	84.215598	0.0	0.0	0.0
432	2467.5984	197.98665	148.21224	78.013210	0.0	0.0	0.0
433	2212.4073	198.20105	142.44469	69.601657	0.0	0.0	0.0
434	1993.2162	194.09498	136.94152	63.316493	0.0	0.0	0.0
435	1801.0100	189.54930	130.42696	57.931542	0.0	0.0	0.0
436	1624.5467	191.67143	131.05892	53.768782	0.0	0.0	0.0
437	1313.0862	184.79521	128.01135	50.899582	0.0	0.0	0.0

Tabella D.48: *Intensità del segnale sull'ordine principale VIS e sugli ordini superiori IR nell'intervallo spettrale bands=411 ÷ 437.*

band	λ (nm)	TT19JG19	TT19JG4	TT19KJ56	TT19KJH21	TT19KJH48	TT19KJG41	TT19KJG10	TT19KJF23	TT19JH47	TT19JJ39	TT19KK13	$\langle Resp_0 \rangle > (DNm^2_{\mu mstr})/(Ws)$	$\tau(b)$	$\langle Resp \rangle > (DNm^2_{\mu mstr})/(Ws)$
0	1000.39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.661267	2438.02
1	1009.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.668624	2447.40
2	1019.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.675648	2456.78
3	1028.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.682365	2466.16
4	1038.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.688771	2475.54
5	1047.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.694874	2484.92
6	1057.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.700681	2494.30
7	1066.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.706192	2503.68
8	1075.89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.711426	2513.06
9	1085.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.716383	2522.44
10	1094.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.721070	2531.82
11	1104.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.725488	2541.20
12	1113.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.729655	2550.58
13	1123.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.733571	2559.96
14	1132.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.737243	2569.34
15	1141.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.740678	2578.72
16	1151.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.743880	2588.10
17	1160.82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.746861	2597.48
18	1170.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.749624	2606.86
19	1179.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.752177	2616.24
20	1189.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.754523	2625.61
21	1198.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.756674	2635.00
22	1208.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.758635	2644.38
23	1217.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.760410	2653.76
24	1226.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.762008	2663.14
25	1236.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.763434	2672.51
26	1245.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.764696	2681.90
27	1255.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.765801	2691.28
28	1264.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.766754	2700.15
29	1274.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.767561	2709.99
30	1283.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.768232	2719.56
31	1292.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.768770	2691.77
32	1302.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.769184	2727.76
33	1311.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.769479	2780.10
34	1321.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.769662	2806.00
35	1330.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.769741	2676.63

Tabella D.49: Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=0÷35. Sono indicati i valori per le 12 sessioni di misura, il valor medio $\langle Resp_0 \rangle$ prima della correzione per la trasmittanza del banco ($\tau(b)$) ed il valore finale $\langle Resp \rangle$. Il valore finale sulle bands 0÷27 (in corsivo) è stato calcolato prolungando la pendenza della responsività.

band	λ (nm)	TI19JG19	TI19JG4	TI19KJ56	TI19KH21	TI19KH48	TI19KG41	TI19KG10	TI19KF23	TI19JK9	TI19JJ47	TI19JJ39	TI19KK13	$\langle Resp_0 \rangle > (DNm^2\mu msr)/(Ws)$	$\tau(b)$	$\langle Resp \rangle > (DNm^2\mu msr)/(Ws)$
36	1340.12	-	-	3722.39	-	-	-	-	-	-	-	-	3510.54	3616.47	0.769720	2783.67
37	1349.56	-	-	3462.97	-	-	-	-	-	-	-	-	3580.36	3521.66	0.769608	2710.30
38	1359.00	-	-	3763.44	-	-	-	-	-	-	-	-	3492.85	3628.15	0.769410	2791.53
39	1368.43	-	-	3511.72	-	-	-	-	-	-	-	-	3639.41	3575.56	0.769134	2750.09
40	1377.87	-	-	3836.98	-	-	-	-	-	-	-	-	3597.27	3717.12	0.768786	2857.67
41	1387.31	-	-	3627.26	-	-	-	-	-	-	-	-	3719.80	3673.53	0.768371	2822.64
42	1396.74	-	-	4032.30	-	-	-	-	-	-	-	-	3567.02	3799.66	0.767898	2917.75
43	1406.18	-	-	4038.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4038.40	0.767373	3098.96
44	1415.62	-	-	4558.99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4558.99	0.766801	3495.84
45	1425.05	-	-	4819.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4819.16	0.766191	3692.39
46	1434.49	-	-	5397.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5397.53	0.765547	4132.06
47	1443.93	-	-	5213.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5213.44	0.764878	3987.64
48	1453.36	-	-	4726.89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4726.89	0.764190	3612.24
49	1462.80	-	-	3800.29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3800.29	0.763488	2901.48
50	1472.24	-	-	3868.99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3868.99	0.762781	2951.19
51	1481.68	-	-	3763.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3763.42	0.762073	2868.00
52	1491.11	-	-	3931.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3931.22	0.761373	2993.13
53	1500.55	-	-	3701.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3701.18	0.760686	2815.44
54	1509.99	-	-	3256.96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3256.96	0.760020	2475.35
55	1519.42	-	-	2573.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2573.30	0.759380	1954.11
56	1528.86	-	-	2620.62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2620.62	0.758773	1988.45
57	1538.30	-	-	2650.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2650.64	0.758207	2009.74
58	1547.73	-	-	3039.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3039.32	0.757687	2302.85
59	1557.17	-	-	3314.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3370.47	0.757220	2552.19
60	1566.61	-	-	3916.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3969.02	0.756812	3003.81
61	1576.04	-	-	4160.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4190.58	0.756472	3170.06
62	1585.48	-	-	4502.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4541.05	0.756204	3433.96
63	1594.92	-	-	4563.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4593.13	0.756015	3472.48
64	1604.36	-	-	4678.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4716.01	0.755913	3564.90
65	1613.79	-	-	4482.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4507.23	0.755903	3407.03
66	1623.23	-	-	4613.62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4642.84	0.755992	3509.95
67	1632.67	-	-	4607.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4637.42	0.756216	3506.89
68	1642.10	-	-	4633.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4656.03	0.756421	3521.92
69	1651.54	-	-	4635.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4660.53	0.756626	3526.28
70	1660.98	-	-	4652.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4670.33	0.756830	3534.65

Tabella D.50: Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=36÷70. Sono indicati i valori per le 12 sessioni di misura, il valor medio $\langle Resp_0 \rangle$ prima della correzione per la trasmittanza del banco ($\tau(b)$) ed il valore finale $\langle Resp \rangle$.

band	λ (nm)	TI19JG19	TI19JG4	TI19KJ56	TI19KH21	TI19KH48	TI19KG41	TI19KG10	TI19KF23	TI19JK9	TI19JJ47	TI19JJ39	TI19KK13	$\langle Resp_0 \rangle > (DNm^2_{\mu mstr})/(Ws)$	$\tau(b)$	$\langle Resp \rangle > (DNm^2_{\mu mstr})/(Ws)$
71	1670.41	-	-	4724.98	-	-	-	-	-	4771.47	-	-	-	4748.23	0.757035	3594.57
72	1679.85	-	-	4820.60	-	-	-	-	-	4839.94	4955.08	-	-	4871.87	0.757240	3689.17
73	1689.29	-	-	4909.05	-	-	-	-	-	4936.35	4760.28	-	-	4868.56	0.757444	3687.66
74	1698.72	-	-	4981.11	-	-	-	-	-	4872.69	5014.60	-	-	4956.13	0.757648	3755.01
75	1708.16	-	-	5078.48	-	-	-	-	-	5074.19	4906.07	-	-	5019.58	0.757852	3804.10
76	1717.60	-	-	5151.24	-	-	-	-	-	5128.80	5193.73	-	-	5157.93	0.758056	3909.99
77	1727.03	-	-	5186.51	-	-	-	-	-	5212.20	5039.19	-	-	5145.97	0.758259	3901.98
78	1736.47	-	-	5181.86	-	-	-	-	-	5146.68	5188.12	-	-	5172.22	0.758463	3922.94
79	1745.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5146.80	-	-	5146.80	0.758666	3904.70
80	1755.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5230.53	-	-	5230.53	0.758869	3969.29
81	1764.78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5211.45	-	-	5211.45	0.759072	3955.86
82	1774.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5365.41	-	-	5365.41	0.759275	4073.82
83	1783.66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5303.43	-	-	5303.43	0.759478	4027.84
84	1793.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5413.22	-	-	5413.22	0.759680	4112.31
85	1802.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5340.48	-	-	5340.48	0.759882	4058.14
86	1811.97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5469.37	-	-	5469.37	0.760085	4157.18
87	1821.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5422.38	-	-	5422.38	0.760287	4122.56
88	1830.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5441.80	-	-	5441.80	0.760488	4138.42
89	1840.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5434.45	-	-	5434.45	0.760690	4133.93
90	1849.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5498.91	5656.29	-	5577.60	0.760891	4243.95
91	1859.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5549.68	5159.46	-	5354.57	0.761093	4075.32
92	1868.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5528.06	5685.35	-	5606.70	0.761294	4268.35
93	1878.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5548.71	5148.72	-	5348.71	0.761495	4073.02
94	1887.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5569.93	5677.09	-	5623.51	0.761696	4283.40
95	1896.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5613.80	5361.80	-	5487.80	0.761896	4181.14
96	1906.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5543.65	5706.63	-	5625.14	0.762097	4286.90
97	1915.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5555.45	5170.86	-	5363.15	0.762297	4088.32
98	1925.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5560.50	5766.00	-	5663.25	0.762497	4318.21
99	1934.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5676.81	5467.96	-	5572.38	0.762697	4250.04
100	1944.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5660.72	5825.70	-	5743.21	0.762897	4381.48

Tabella D.51: Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=71÷100. Sono indicati i valori per le 12 sessioni di misura, il valor medio $\langle Resp_0 \rangle$ prima della correzione per la trasmittanza del banco ($\tau(b)$) ed il valore finale $\langle Resp \rangle$.

band	λ (nm)	TI19JG19	TI19JG4	TI19KJ56	TI19KH21	TI19KH48	TI19KG41	TI19KG10	TI19KF23	TI19JK9	TI19JJ47	TI19JJ39	TI19KK13	$\langle Resp_0 \rangle (DNm^2\mu msr)/(Ws)$	$\tau(b)$	$\langle Resp \rangle (DNm^2\mu msr)/(Ws)$
101	1953.52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5759.06	5547.35	-	5653.21	0.763097	4313.95
102	1962.96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5716.27	5906.16	-	5811.22	0.763296	4435.68
103	1972.39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5863.80	5594.72	-	5729.26	0.763496	4374.27
104	1981.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5779.34	6041.18	-	5910.26	0.763695	4513.64
105	1991.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5773.84	-	5773.84	0.763894	4410.60
106	2000.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6134.50	-	6134.50	0.764093	4687.33
107	2010.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5915.78	-	5915.78	0.764292	4521.38
108	2019.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6191.07	-	6191.07	0.764490	4733.01
109	2029.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5935.83	-	5935.83	0.764689	4539.06
110	2038.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6220.77	-	6220.77	0.764887	4758.18
111	2047.89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5971.14	-	5971.14	0.765085	4568.43
112	2057.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6325.46	-	6325.46	0.765283	4840.76
113	2066.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5964.65	-	5964.65	0.765480	4565.82
114	2076.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6224.92	-	6224.92	0.765678	4766.28
115	2085.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6008.66	-	6008.66	0.765876	4601.89
116	2095.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6260.33	-	6260.33	0.766073	4795.87
117	2104.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6000.23	-	6000.23	0.766270	4597.79
118	2113.95	6288.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6235.65	-	6261.98	0.766467	4799.60
119	2123.38	5836.66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5952.51	-	5894.58	0.766663	4519.16
120	2132.82	6320.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6275.35	-	6298.05	0.766860	4829.72
121	2142.26	5903.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5986.44	-	5944.96	0.767056	4560.12
122	2151.70	6346.66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6299.11	-	6322.89	0.767253	4851.25
123	2161.13	6044.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6118.97	-	6081.53	0.767449	4667.26
124	2170.57	6304.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6276.78	-	6290.46	0.767645	4828.84
125	2180.01	5922.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5997.44	-	5959.85	0.767840	4576.21
126	2189.44	6231.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6189.39	-	6210.37	0.768036	4769.78
127	2198.88	5800.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5888.08	-	5844.30	0.768231	4489.77
128	2208.32	6155.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6102.00	-	6128.72	0.768427	4709.47
129	2217.75	5806.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5857.77	-	5832.30	0.768622	4482.83
130	2227.19	6078.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6027.15	-	6052.93	0.768817	4653.59

Tabella D.52: Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=101÷130. Sono indicati i valori per le 12 sessioni di misura, il valor medio $\langle Resp_0 \rangle$ prima della correzione per la trasmittanza del banco ($\tau(b)$) ed il valore finale $\langle Resp \rangle$.

band	λ (nm)	TI19JG19	TI19JG4	TI19KJ56	TI19KH21	TI19KH48	TI19KG41	TI19KG10	TI19KF23	TI19JK9	TI19JJ47	TI19JJ39	TI19KK13	$< Resp_0 > (DNm^2_{\mu m sr})/(Ws)$	$\tau(b)$	$< Resp > (DNm^2_{\mu m sr})/(Ws)$
131	2236.63	5784.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5824.51	-	5804.70	0.769011	4463.88
132	2246.06	6030.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5980.16	-	6005.32	0.769206	4619.33
133	2255.50	5791.78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5813.64	-	5802.71	0.769401	4464.61
134	2264.94	6065.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5995.03	-	6030.41	0.769595	4640.97
135	2274.37	5714.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5733.98	-	5723.99	0.769789	4406.26
136	2283.81	6024.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5948.44	-	5986.30	0.769983	4609.35
137	2293.25	5807.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5810.55	-	5809.03	0.770177	4473.98
138	2302.69	6046.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5963.51	-	6004.85	0.770370	4625.96
139	2312.12	5868.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5866.62	-	5867.47	0.770564	4521.26
140	2321.56	6076.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5993.36	-	6034.87	0.770757	4651.42
141	2331.00	5922.98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5912.33	-	5917.65	0.770950	4562.21
142	2340.43	6078.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5994.62	-	6036.34	0.771143	4654.88
143	2349.87	5994.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5966.76	-	5980.81	0.771336	4613.21
144	2359.31	6171.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6094.75	-	6133.33	0.771528	4732.04
145	2368.74	6008.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5984.61	-	5996.69	0.771721	4627.77
146	2378.18	6207.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6106.47	-	6156.99	0.771913	4752.66
147	2387.62	6151.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6089.81	-	6120.61	0.772106	4725.75
148	2397.05	6263.97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6159.25	-	6211.61	0.772297	4797.21
149	2406.49	6354.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6242.76	-	6298.47	0.772489	4865.50
150	2415.93	6708.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6510.65	-	6609.72	0.772681	5107.20
151	2425.36	6835.39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6614.08	-	6724.73	0.772872	5197.36
152	2434.80	6836.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6598.12	-	6717.17	0.773064	5192.80
153	2444.24	6467.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6267.52	-	6367.61	0.773255	4923.78
154	2453.68	5763.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5624.91	-	5694.15	0.773446	4404.12
155	2463.11	5528.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5440.22	-	5484.21	0.773637	4242.78
156	2472.55	5987.92	6204.44	-	-	-	-	-	-	-	-	5882.95	-	6025.10	0.773827	4662.39
157	2481.99	6370.39	6131.85	-	-	-	-	-	-	-	-	6265.74	-	6255.99	0.774018	4842.25
158	2491.42	6478.38	6747.47	-	-	-	-	-	-	-	-	6375.03	-	6533.63	0.774208	5058.39
159	2500.86	6411.46	6041.29	-	-	-	-	-	-	-	-	6334.50	-	6262.42	0.774398	4849.61
160	2510.30	5822.67	6119.82	-	-	-	-	-	-	-	-	5778.90	-	5907.13	0.774588	4575.59

Tabella D.53: Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=131÷160. Sono indicati i valori per le 12 sessioni di misura, il valor medio $< Resp_0 >$ prima della correzione per la trasmittanza del banco ($\tau(b)$) ed il valore finale $< Resp >$.

band	λ (nm)	TI19JG19	TI19JG4	TI19KJ56	TI19KH21	TI19KH48	TI19KG41	TI19KG10	TI19KF23	TI19JK9	TI19JJ47	TI19JJ39	TI19KK13	$< Resp_0 > (DNm^2\mu msr)/(Ws)$	$\tau(b)$	$< Resp > (DNm^2\mu msr)/(Ws)$
161	2519.73	5350.76	4968.85	—	—	—	—	—	—	—	—	5340.14	—	5219.92	0.774778	4044.28
162	2529.17	5534.75	5775.73	—	—	—	—	—	—	—	—	5676.81	—	5614.51	0.774968	4351.06
163	2538.61	5697.45	5449.87	—	—	—	—	—	—	—	—	6006.87	—	5608.04	0.775157	4347.12
164	2548.04	6051.29	6293.60	—	—	—	—	—	—	—	—	6418.93	—	6117.26	0.775347	4742.99
165	2557.48	6454.89	6241.56	—	—	—	—	—	—	—	—	7294.44	—	6371.79	0.775536	4941.56
166	2566.92	7073.97	7386.09	—	—	—	—	—	—	—	—	7579.31	—	7251.50	0.775725	5625.17
167	2576.35	7525.83	7345.51	—	—	—	—	—	—	—	—	7687.39	—	7483.55	0.775914	5806.59
168	2585.79	7624.31	7917.88	—	—	—	—	—	—	—	—	7843.06	—	7743.19	0.776103	6009.51
169	2595.23	7831.68	7615.12	—	—	—	—	—	—	—	—	7875.33	—	7763.29	0.776291	6026.57
170	2604.67	7855.96	8025.12	—	—	—	—	—	—	—	—	7633.48	—	7918.80	0.776480	6148.79
171	2614.10	7627.72	7401.79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7554.33	0.776668	5867.20
172	2623.54	7747.88	8031.19	—	8272.60	8477.40	—	—	—	—	—	—	—	8132.27	0.776856	6317.60
173	2632.98	—	8094.19	—	7860.88	8263.09	—	—	—	—	—	—	—	8072.72	0.777044	6272.86
174	2642.41	—	8525.64	—	8701.23	8826.86	—	—	—	—	—	—	—	8684.58	0.777231	6749.93
175	2651.85	—	7636.43	—	7622.00	8034.67	—	—	—	—	—	—	—	7764.37	0.777419	6036.17
176	2661.29	—	7519.55	—	8166.10	8317.52	—	—	—	—	—	—	—	8001.06	0.777606	6221.67
177	2670.72	—	7295.13	—	7513.37	7956.69	—	—	—	—	—	—	—	7588.40	0.777794	5902.21
178	2680.16	—	8641.33	—	9031.49	9158.33	—	—	—	—	—	—	—	8943.72	0.777981	6958.04
179	2689.60	—	8312.33	—	8486.45	8764.21	—	—	—	—	—	—	—	8520.99	0.778168	6630.76
180	2699.03	—	8812.46	—	9133.87	9234.09	—	—	—	—	—	—	—	9060.14	0.778354	7052.00
181	2708.47	—	7816.41	—	8004.04	8292.76	—	—	—	—	—	—	—	8037.74	0.778541	6257.71
182	2717.91	—	7889.95	—	8368.54	8510.84	—	—	—	—	—	—	—	8256.44	0.778727	6429.52
183	2727.35	—	7788.38	—	7980.57	8224.00	—	—	—	—	—	—	—	7997.65	0.778913	6229.48
184	2736.78	—	7951.96	—	8339.70	8486.87	—	—	—	—	—	—	—	8259.51	0.779100	6434.98
185	2746.22	—	7676.61	—	7816.34	8098.26	—	—	—	—	—	—	—	7863.74	0.779285	6128.10
186	2755.66	—	7916.68	—	8337.08	8460.62	—	—	—	—	—	—	—	8238.13	0.779471	6421.38
187	2765.09	—	7653.48	—	7892.66	8120.86	—	—	—	—	—	—	—	7889.00	0.779657	6150.71
188	2774.53	—	8278.32	—	8601.34	8680.91	—	—	—	—	—	—	—	8520.19	0.779842	6644.40
189	2783.97	—	7848.66	—	7977.38	8216.58	—	—	—	—	—	—	—	8014.20	0.780027	6251.30
190	2793.40	—	8303.52	—	8638.72	8680.60	—	—	—	—	—	—	—	8540.95	0.780213	6663.75

Tabella D.54: Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=161÷190. Sono indicati i valori per le 12 sessioni di misura, il valor medio $< Resp_0 >$ prima della correzione per la trasmittanza del banco ($\tau(b)$) ed il valore finale $< Resp >$.

band	λ (nm)	TI19JG19	TI19JG4	TI19KJ56	TI19KH21	TI19KH48	TI19KG41	TI19KG10	TI19KF23	TI19JK9	TI19JJ47	TI19JJ39	TI19KK13	$\langle Resp_0 \rangle > (DNm^2_{\mu m sr})/(Ws)$	$\tau(b)$	$\langle Resp \rangle > (DNm^2_{\mu m sr})/(Ws)$
191	2802.84	-	7756.90	-	7828.69	8125.22	-	-	-	-	-	-	-	7903.60	0.780398	6167.95
192	2812.28	-	8139.80	-	8348.04	8464.92	-	-	-	-	-	-	-	8317.58	0.780582	6492.56
193	2821.71	-	7669.92	-	7645.50	7957.58	-	-	-	-	-	-	-	7757.67	0.780767	6056.93
194	2831.15	-	8016.74	-	8213.24	8311.82	-	-	-	-	-	-	-	8180.60	0.780951	6388.65
195	2840.59	-	7770.48	-	7856.02	8067.71	-	-	-	-	-	-	-	7898.07	0.781136	6169.46
196	2850.02	-	8126.42	-	8311.95	8395.91	-	-	-	-	-	-	-	8278.10	0.781320	6467.84
197	2859.46	-	7772.03	-	7820.11	8099.86	-	-	-	-	-	-	-	7897.33	0.781504	6171.79
198	2868.90	-	8276.08	-	8500.34	8517.41	-	-	-	-	-	-	-	8431.28	0.781687	6590.62
199	2878.34	-	7759.06	-	7777.74	8094.66	-	-	-	-	-	-	-	7877.15	0.781871	6158.92
200	2887.77	-	8188.47	-	8388.48	8447.68	-	-	-	-	-	-	-	8341.54	0.782055	6523.54
201	2897.21	-	7720.89	-	7807.75	8030.88	-	-	-	-	-	-	-	7853.17	0.782238	6143.05
202	2906.65	-	8010.30	-	8215.59	8266.08	-	-	-	-	-	-	-	8163.99	0.782421	6387.68
203	2916.08	-	7565.12	-	7635.52	7862.89	-	-	-	-	-	-	-	7687.84	0.782604	6016.53
204	2925.52	-	7916.58	-	8130.36	8170.57	-	8084.33	-	-	-	-	-	8075.46	0.782787	6321.36
205	2934.96	-	7586.66	-	7585.19	7904.87	-	7398.00	-	-	-	-	-	7618.68	0.782969	5965.19
206	2944.39	-	8135.15	-	8323.06	8350.31	-	8277.59	-	-	-	-	-	8271.53	0.783152	6477.86
207	2953.83	-	7998.51	-	8037.19	8328.74	-	7817.89	-	-	-	-	-	8045.58	0.783334	6302.38
208	2963.27	-	8571.75	-	8812.84	8798.79	-	8709.33	-	-	-	-	-	8723.18	0.783516	6834.75
209	2972.70	-	8425.46	-	8520.42	8796.09	-	8286.18	-	-	-	-	-	8507.04	0.783698	6666.95
210	2982.14	-	8984.92	-	9255.85	9240.41	-	9083.97	-	-	-	-	-	9141.29	0.783880	7165.67
211	2991.58	-	8749.68	-	8863.18	9141.80	-	8577.80	-	-	-	-	-	8833.12	0.784062	6925.71
212	3001.02	-	9151.83	-	9514.06	9408.03	-	9315.23	-	-	-	-	-	9347.29	0.784243	7330.55
213	3010.45	-	8704.75	-	8805.58	9105.71	-	8510.63	-	-	-	-	-	8781.67	0.784424	6888.56
214	3019.89	-	8890.11	-	9227.10	9169.69	-	8982.67	-	-	-	-	-	9067.39	0.784606	7114.33
215	3029.33	-	8451.08	-	8586.39	8837.24	-	8293.79	-	-	-	-	-	8542.12	0.784787	6703.75
216	3038.76	-	8731.92	-	9080.96	8976.21	-	8857.34	-	-	-	-	-	8911.61	0.784968	6995.32
217	3048.20	-	8304.70	-	8408.06	8674.37	-	8146.23	-	-	-	-	-	8383.34	0.785148	6582.16
218	3057.64	-	8627.29	-	8934.43	8854.33	8900.29	8726.22	-	-	-	-	-	8808.51	0.785329	6917.58
219	3067.07	-	8556.32	-	8647.92	8923.34	8295.58	8433.34	-	-	-	-	-	8571.30	0.785509	6732.83
220	3076.51	-	9181.50	-	9525.91	9389.58	9495.95	9294.70	-	-	-	-	-	9377.53	0.785689	7367.82

Tabella D.55: Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=191÷220. Sono indicati i valori per le 12 sessioni di misura, il valor medio $\langle Resp_0 \rangle$ prima della correzione per la trasmittanza del banco ($\tau(b)$) ed il valore finale $\langle Resp \rangle$.

band	λ (nm)	TI19JG19	TI19JG4	TI19KJ56	TI19KH21	TI19KH48	TI19KG41	TI19KG10	TI19KF23	TI19JK9	TI19JJ47	TI19JJ39	TI19KK13	$< Resp_0 > (DNm^2\mu msr)/(Ws)$	$\tau(b)$	$< Resp > (DNm^2\mu msr)/(Ws)$
221	3085.95	—	9075.21	—	9095.12	9459.97	8519.35	8871.43	—	—	—	—	—	9004.21	0.785869	7076.14
222	3095.38	—	9751.79	—	10109.4	9972.63	10043.7	9859.10	—	—	—	—	—	9947.31	0.786049	7819.08
223	3104.82	—	9829.42	—	9941.90	10209.5	9598.72	9670.83	—	—	—	—	—	9850.07	0.786229	7744.41
224	3114.26	—	10287.0	—	10716.2	10469.2	10734.4	10469.5	—	—	—	—	—	10535.3	0.786408	8285.03
225	3123.69	—	10341.6	—	10486.8	10716.5	10098.4	10201.7	—	—	—	—	—	10369.0	0.786588	8156.12
226	3133.13	—	10678.2	—	11114.5	10855.5	11085.3	10844.2	—	—	—	—	—	10915.5	0.786767	8587.98
227	3142.57	—	10454.3	—	10661.2	10813.8	10404.9	10343.3	—	—	—	—	—	10535.5	0.786946	8290.87
228	3152.01	—	10630.7	—	11097.4	10790.8	11068.4	10798.9	—	—	—	—	—	10877.2	0.787125	8561.75
229	3161.44	—	10499.8	—	10669.0	10830.8	10306.8	10364.7	—	—	—	—	—	10534.2	0.787304	8293.64
230	3170.88	—	10698.4	—	11184.6	10829.3	11243.5	10872.7	—	—	—	—	—	10965.7	0.787482	8635.28
231	3180.32	—	10486.3	—	10665.3	10815.1	10302.1	10348.0	—	—	—	—	—	10523.4	0.787660	8288.84
232	3189.75	—	10572.8	—	11048.8	10704.8	11053.0	10730.7	—	—	—	—	—	10822.0	0.787839	8525.99
233	3199.19	—	10437.8	—	10631.5	10737.0	10276.7	10331.8	—	—	—	—	—	10483.0	0.788017	8260.75
234	3208.63	—	10581.8	—	11047.1	10680.2	11108.3	10754.5	—	—	—	—	—	10834.4	0.788195	8539.61
235	3218.06	—	10613.1	—	10780.1	10901.0	10409.4	10507.7	—	—	—	—	—	10642.2	0.788372	8390.05
236	3227.50	—	10935.5	—	11393.0	11036.5	11487.1	11097.4	—	—	—	—	—	11189.9	0.788550	8823.81
237	3236.94	—	11212.1	—	11463.2	11503.9	11261.3	11180.7	—	—	—	—	—	11324.3	0.788727	8931.75
238	3246.37	—	11456.0	—	11955.6	11861.3	12044.7	11630.9	—	—	—	—	—	11789.7	0.788904	9300.96
239	3255.81	—	11705.6	—	11938.8	12128.5	11543.3	11661.8	—	—	—	—	—	11795.6	0.789081	9307.69
240	3265.25	—	11908.6	—	12526.3	12280.2	12675.6	12164.6	—	—	—	—	—	12311.1	0.789258	9716.63
241	3274.69	—	12127.7	—	12470.6	12502.5	12228.7	12174.5	—	—	—	—	—	12300.8	0.789435	9710.69
242	3284.12	—	12268.5	—	12913.1	12556.5	13069.5	12540.0	—	—	—	—	—	12669.5	0.789612	10004.0
243	3293.56	—	12373.1	—	12733.4	12765.2	12468.9	12430.8	—	—	—	—	—	12554.3	0.789788	9915.21
244	3303.00	—	12380.9	—	13037.4	12563.0	13246.3	12653.4	—	—	—	—	—	12776.2	0.789964	10092.7
245	3312.43	—	12197.2	—	12564.4	—	12311.3	12268.6	—	—	—	—	—	12335.4	0.790140	9746.69
246	3321.87	—	12191.0	—	12854.9	—	13042.9	12477.0	—	—	—	—	—	12641.5	0.790316	9990.75
247	3331.31	—	12225.8	—	12615.9	—	12394.2	12315.1	—	—	—	—	—	12387.7	0.790492	9792.41
248	3340.74	—	12010.4	—	12706.9	—	12921.2	12317.6	—	—	—	—	—	12489.0	0.790668	9874.67
249	3350.18	—	12110.9	—	12526.5	—	12335.3	12245.1	—	—	—	—	—	12304.4	0.790843	9730.88
250	3359.62	—	12105.5	—	12732.5	—	12965.3	12369.2	—	—	—	—	—	12543.1	0.791018	9921.83

Tabella D.56: Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=221÷250. Sono indicati i valori per le 12 sessioni di misura, il valor medio $< Resp_0 >$ prima della correzione per la trasmittanza del banco ($\tau(b)$) ed il valore finale $< Resp >$.

band	λ (nm)	TI19JG19	TI19JG4	TI19KJ56	TI19KJH21	TI19KH48	TI19KG41	TI19KG10	TI19KJF23	TI19JK9	TI19JJ47	TI19JJ39	TI19KK13	$\langle Resp_0 > (DNm^2_{\mu mstr})/(Ws)$	$\tau(b)$	$\langle Resp > (DNm^2_{\mu mstr})/(Ws)$
251	3369.05	-	12146.2	-	12550.1	-	12369.2	12283.9	-	-	-	-	-	12337.3	0.791193	9761.23
252	3378.49	-	12263.3	-	12741.4	-	13049.4	12372.7	-	-	-	-	-	12606.7	0.791368	9976.54
253	3387.93	-	12258.1	-	12641.5	-	12348.2	12404.9	-	-	-	-	-	12413.2	0.791543	9825.56
254	3397.36	-	12715.6	-	13044.4	-	13365.9	12664.3	13137.1	-	-	-	-	12985.4	0.791718	10280.8
255	3406.80	-	12529.4	-	12933.1	-	12739.4	12679.9	11995.1	-	-	-	-	12575.4	0.791892	9958.35
256	3416.24	-	12827.6	-	13110.7	-	13481.8	12729.0	13276.6	-	-	-	-	13085.1	0.792067	10364.3
257	3425.68	-	12674.2	-	13059.2	-	12862.5	12818.4	12172.8	-	-	-	-	12717.4	0.792241	10075.2
258	3435.11	-	12896.3	-	13211.6	-	13597.9	12823.4	13370.4	-	-	-	-	13179.9	0.792414	10444.0
259	3444.55	-	13161.6	-	13509.5	-	13368.8	13228.7	12633.8	-	-	-	-	13180.5	0.792588	10446.7
260	3453.99	-	13221.0	-	13606.9	-	14066.9	13185.8	13835.7	-	-	-	-	13583.2	0.792762	10768.3
261	3463.42	-	12996.5	-	13418.0	-	13313.0	13141.2	12859.2	-	-	-	-	13145.6	0.792935	10423.6
262	3472.86	-	13123.0	-	13505.3	-	13938.2	13087.7	13709.7	-	-	-	-	13472.8	0.793109	10685.4
263	3482.30	-	12970.2	-	13350.9	-	13205.3	13081.2	12668.2	-	-	-	-	13055.2	0.793282	10356.4
264	3491.73	-	12968.9	-	13429.8	-	13880.3	13005.7	13624.9	-	-	-	-	13381.9	0.793455	10617.9
265	3501.17	-	12870.5	-	13273.3	-	13136.5	12997.8	12523.1	-	-	-	-	12960.3	0.793628	10285.6
266	3510.61	-	12966.1	-	13439.8	-	13940.7	13017.1	13729.3	-	-	-	-	13418.6	0.793800	10651.7
267	3520.04	-	-	-	13567.2	-	13500.6	13278.0	13052.0	-	-	-	-	13349.4	0.793973	10599.1
268	3529.48	-	-	-	13779.5	-	14238.0	13347.7	14041.9	-	-	-	-	13851.8	0.794145	11000.3
269	3538.92	-	-	-	13763.2	-	13749.5	13482.8	13236.9	-	-	-	-	13558.1	0.794317	10769.4
270	3548.35	-	-	-	13883.7	-	14534.4	13410.9	14310.2	-	-	-	-	14034.8	0.794489	11150.5
271	3557.79	-	-	-	13797.5	-	13769.0	13523.5	13182.6	-	-	-	-	13568.1	0.794661	10782.1
272	3567.23	-	-	-	14016.8	-	14601.8	13562.9	14421.1	-	-	-	-	14150.7	0.794833	11247.4
273	3576.67	-	-	-	13861.5	-	13788.4	13579.7	13251.7	-	-	-	-	13620.3	0.795004	10828.2
274	3586.10	-	-	-	14007.3	-	14653.2	13537.9	14485.7	-	-	-	-	14171.0	0.795175	11268.4
275	3595.54	-	-	-	13961.4	-	13966.9	13667.7	13461.9	-	-	-	-	13764.5	0.795347	10947.5
276	3604.98	-	-	-	14044.6	-	14681.3	13769.4	14519.1	-	-	-	-	14253.6	0.795517	11339.0
277	3614.41	-	-	-	13953.8	-	14005.0	13693.2	13476.1	-	-	-	-	13782.0	0.795688	10966.2
278	3623.85	-	-	-	14027.9	-	14655.8	13940.3	14493.3	-	-	-	-	14279.3	0.795859	11364.3
279	3633.29	-	-	-	13878.0	-	13937.2	13683.2	13502.4	-	-	-	-	13750.2	0.796030	10945.5
280	3642.72	-	-	-	13916.4	-	14615.0	13682.6	14555.2	-	-	-	-	14192.3	0.796200	11299.9

Tabella D.57: Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=251÷280. Sono indicati i valori per le 12 sessioni di misura, il valor medio $\langle Resp_0 \rangle$ prima della correzione per la trasmittanza del banco ($\tau(b)$) ed il valore finale $\langle Resp \rangle$.

band	λ (nm)	TI19JG19	TI19JG4	TI19KJ56	TI19KH21	TI19KH48	TI19KG41	TI19KG10	TI19KF23	TI19JK9	TI19JJ47	TI19JJ39	TI19KK13	$\langle Resp_0 \rangle (DNm^2\mu msr)/(Ws)$	$\tau(b)$	$\langle Resp \rangle (DNm^2\mu msr)/(Ws)$
281	3652.16	-	-	-	13972.2	-	14038.8	13827.5	13463.4	-	-	-	-	13825.5	0.796370	11010.2
282	3661.60	-	-	-	13830.2	-	14377.7	13770.1	14323.6	-	-	-	-	14075.4	0.796540	11211.6
283	3671.03	-	-	-	13770.9	-	13826.1	13663.1	13382.4	-	-	-	-	13660.6	0.796710	10883.6
284	3680.47	-	-	-	14349.7	-	14904.2	14245.4	14837.4	-	-	-	-	14584.2	0.796880	11621.8
285	3689.91	-	-	-	14009.5	-	14172.6	13925.0	13861.9	-	-	-	-	13992.2	0.797049	11152.5
286	3699.35	-	-	-	12736.8	-	13318.1	12786.2	13240.5	-	-	-	-	13020.4	0.797218	10380.1
287	3708.78	-	-	-	11973.5	-	11982.1	11847.3	11477.5	-	-	-	-	11820.1	0.797388	9425.21
288	3718.22	-	-	-	12739.7	-	13367.9	12609.8	13294.5	-	-	-	-	13003.0	0.797557	10370.6
289	3727.66	-	-	-	13561.6	-	13764.1	13358.4	13445.3	-	-	-	-	13532.4	0.797726	10795.1
290	3737.09	-	-	-	13589.1	-	14127.3	13139.4	14089.3	-	-	-	-	13736.3	0.797894	10960.1
291	3746.53	-	-	-	13669.6	-	13781.9	13447.3	13370.9	-	-	-	-	13567.4	0.798063	10827.7
292	3755.97	-	-	-	13703.1	-	14073.9	13174.2	14006.0	-	-	-	-	13739.3	0.798231	10967.1
293	3765.40	-	-	-	13347.9	-	13459.7	-	13052.2	-	-	-	-	13286.6	0.798399	10608.0
294	3774.84	-	-	-	14429.4	-	14538.2	-	14567.8	-	-	-	-	14511.8	0.798567	11588.7
295	3784.28	-	-	-	14710.5	-	14864.0	-	14657.8	-	-	-	-	14744.1	0.798735	11776.7
296	3793.71	-	-	-	15251.0	-	15668.7	-	15843.8	-	-	-	-	15587.8	0.798903	12453.1
297	3803.15	-	-	-	15056.6	-	15303.7	-	14999.7	-	-	-	-	15120.0	0.799071	12082.0
298	3812.59	-	-	-	15341.1	-	15828.1	-	16018.1	-	-	-	-	15729.1	0.799238	12571.3
299	3822.02	-	-	-	15213.6	-	15454.1	-	15209.6	-	-	-	-	15292.4	0.799405	12224.8
300	3831.46	-	-	-	15359.7	-	15940.0	-	16189.3	-	-	-	-	15829.7	0.799572	12657.0
301	3840.90	-	-	-	15246.2	-	15516.8	-	15280.9	-	-	-	-	15347.9	0.799739	12274.4
302	3850.34	-	-	-	15238.6	-	15804.5	-	16056.6	-	-	-	-	15699.9	0.799906	12558.4
303	3859.77	-	-	-	15108.5	-	15413.9	-	15236.7	-	-	-	-	15253.0	0.800072	12203.5
304	3869.21	-	-	-	14967.0	-	15697.8	-	15996.3	-	-	-	-	15593.7	0.800239	12446.7
305	3878.65	-	-	-	14905.2	-	15280.2	-	15023.3	-	-	-	-	15069.5	0.800405	12061.7
306	3888.08	-	-	-	-	-	15560.0	-	15833.7	-	-	-	-	15696.8	0.800571	12566.4
307	3897.52	-	-	-	-	-	15149.0	-	14889.6	-	-	-	-	15019.3	0.800737	12026.5
308	3906.96	-	-	-	-	-	15367.5	-	15646.9	-	-	-	-	15507.2	0.800903	12419.8
309	3916.39	-	-	-	-	-	15067.8	-	14883.8	-	-	-	-	14975.8	0.801068	11996.6
310	3925.83	-	-	-	-	-	15199.3	-	15486.4	-	-	-	-	15342.9	0.801234	12293.2

302 Tabella D.58: Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=281÷310. Sono indicati i valori per le 12 sessioni di misura, il valor medio $\langle Resp_0 \rangle$ prima della correzione per la trasmittanza del banco ($\tau(b)$) ed il valore finale $\langle Resp \rangle$.

band	λ (nm)	TI19JG19	TI19JG4	TI19KJ56	TI19KH21	TI19KH48	TI19KG41	TI19KG10	TI19KF23	TI19JK9	TI19JJ47	TI19JJ39	TI19KK13	$< Resp_0 > (DNm^2\mu mstr)/(Ws)$	$\tau(b)$	$< Resp > (DNm^2\mu mstr)/(Ws)$
311	3935.27	-	-	-	-	-	14686.8	-	14375.3	-	-	-	-	14531.0	0.801399	11645.2
312	3944.70	-	-	-	-	-	15350.5	-	15693.0	-	-	-	-	15521.8	0.801564	12441.7
313	3954.14	-	-	-	-	-	15419.8	-	15180.4	-	-	-	-	15300.1	0.801729	12266.5
314	3963.58	-	-	-	-	-	16015.2	-	16395.9	-	-	-	-	16205.6	0.801894	12995.1
315	3973.01	-	-	-	-	-	16018.2	-	15706.1	-	-	-	-	15862.2	0.802059	12722.4
316	3982.45	-	-	-	-	-	16526.6	-	16908.3	-	-	-	-	16717.5	0.802223	13411.1
317	3991.89	-	-	-	-	-	16514.0	-	16330.3	-	-	-	-	16422.1	0.802387	13176.9
318	4001.33	-	-	-	-	-	16745.2	-	17141.5	-	-	-	-	16943.3	0.802551	13597.9
319	4010.76	-	-	-	-	-	16533.9	-	16384.9	-	-	-	-	16459.4	0.802715	13212.2
320	4020.20	-	-	-	-	-	16628.4	-	16919.0	-	-	-	-	16773.7	0.802879	13467.2
321	4029.64	-	-	-	-	-	16206.3	-	15945.2	-	-	-	-	16075.8	0.803043	12909.5
322	4039.07	-	-	-	-	-	16316.2	-	16698.6	-	-	-	-	16507.4	0.803206	13258.8
323	4048.51	-	-	-	-	-	16000.1	-	15842.1	-	-	-	-	15921.1	0.803369	12790.5
324	4057.95	-	-	-	-	-	16242.2	-	16521.4	-	-	-	-	16381.8	0.803533	13163.3
325	4067.38	-	-	-	-	-	16022.4	-	15839.0	-	-	-	-	15930.7	0.803696	12803.4
326	4076.82	-	-	-	-	-	16093.7	-	16492.0	-	-	-	-	16292.8	0.803858	13097.1
327	4086.26	-	-	-	-	-	16012.9	-	15749.6	-	-	-	-	15881.3	0.804021	12768.9
328	4095.69	-	-	-	-	-	16306.0	-	16750.7	-	-	-	-	16528.4	0.804183	13291.8
329	4105.13	-	-	-	-	-	16313.8	-	16198.1	-	-	-	-	16255.9	0.804346	13075.4
330	4114.57	-	-	-	-	-	16605.0	-	17056.9	-	-	-	-	16830.9	0.804508	13540.6
331	4124.01	-	-	-	-	-	16503.2	-	16296.5	-	-	-	-	16399.8	0.804670	13196.5
332	4133.44	-	-	-	-	-	16664.8	-	17126.5	-	-	-	-	16895.7	0.804832	13598.2
333	4142.88	-	-	-	-	-	16449.0	-	16230.5	-	-	-	-	16339.8	0.804993	13153.4
334	4152.32	-	-	-	-	-	16636.5	-	17053.4	-	-	-	-	16844.9	0.805155	13562.8
335	4161.75	-	-	-	-	-	16464.0	-	16362.5	-	-	-	-	16413.2	0.805316	13217.8
336	4171.19	-	-	-	-	-	16528.2	-	16983.8	-	-	-	-	16756.0	0.805477	13496.6
337	4180.63	-	-	-	-	-	16153.1	-	15983.8	-	-	-	-	16068.5	0.805638	12945.4
338	4190.06	-	-	-	-	-	16155.8	-	16537.8	-	-	-	-	16346.8	0.805799	13172.2
339	4199.50	-	-	-	-	-	15824.2	-	15747.1	-	-	-	-	15785.7	0.805960	12722.6
340	4208.94	-	-	-	-	-	15597.7	-	16133.7	-	-	-	-	15865.7	0.806120	12789.6

Tabella D.59: Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=311÷340. Sono indicati i valori per le 12 sessioni di misura, il valor medio $< Resp_0 >$ prima della correzione per la trasmittanza del banco ($\tau(b)$) ed il valore finale $< Resp >$.

band	λ (nm)	TI19JG19	TI19JG4	TI19KJ56	TI19KH21	TI19KH48	TI19KG41	TI19KG10	TI19KF23	TI19JK9	TI19JJ47	TI19JJ39	TI19KK13	$\langle Resp_0 \rangle (DNm^2\mu msr)/(Ws)$	$\tau(b)$	$\langle Resp \rangle (DNm^2\mu msr)/(Ws)$
341	4218.37	-	-	-	-	-	15047.3	-	15045.2	-	-	-	-	15046.2	0.806281	12131.5
342	4227.81	-	-	-	-	-	15082.4	-	15727.9	-	-	-	-	15405.2	0.806441	12423.3
343	4237.25	-	-	-	-	-	15081.0	-	15162.8	-	-	-	-	15121.9	0.806601	12197.3
344	4246.68	-	-	-	-	-	15652.8	-	16191.6	-	-	-	-	15922.2	0.806761	12845.4
345	4256.12	-	-	-	-	-	15681.7	-	15723.9	-	-	-	-	15702.8	0.806920	12670.9
346	4265.56	-	-	-	-	-	15627.7	-	16258.1	-	-	-	-	15942.9	0.807080	12867.2
347	4275.00	-	-	-	-	-	15443.4	-	15574.0	-	-	-	-	15508.7	0.807239	12519.2
348	4284.43	-	-	-	-	-	15672.3	-	16276.4	-	-	-	-	15974.3	0.807398	12897.7
349	4293.87	-	-	-	-	-	15785.3	-	15901.6	-	-	-	-	15843.4	0.807557	12794.5
350	4303.31	-	-	-	-	-	16062.9	-	16783.1	-	-	-	-	16423.0	0.807716	13265.1
351	4312.74	-	-	-	-	-	15658.8	-	15675.6	-	-	-	-	15667.2	0.807875	12657.1
352	4322.18	-	-	-	-	-	14021.1	-	14392.8	-	-	-	-	14206.9	0.808034	11479.7
353	4331.62	-	-	-	-	-	12478.0	-	12346.8	-	-	-	-	12412.4	0.808192	10031.6
354	4341.05	-	-	-	-	-	13195.2	-	13544.7	-	-	-	-	13370.0	0.808350	10807.6
355	4350.49	-	-	-	-	-	14455.3	-	14359.8	-	-	-	-	14407.5	0.808508	11648.6
356	4359.93	-	-	-	-	-	14691.9	-	15078.8	-	-	-	-	14885.3	0.808666	12037.3
357	4369.36	-	-	-	-	-	15185.1	-	15192.6	-	-	-	-	15188.9	0.808824	12285.1
358	4378.80	-	-	-	-	-	15117.8	-	15599.0	-	-	-	-	15358.4	0.808981	12424.7
359	4388.24	-	-	-	-	-	15238.9	-	15198.7	-	-	-	-	15218.8	0.809139	12314.1
360	4397.68	-	-	-	-	-	15892.4	-	16401.0	-	-	-	-	16146.7	0.809296	13067.4
361	4407.11	-	-	-	-	-	16407.0	-	16418.8	-	-	-	-	16412.9	0.809453	13285.5
362	4416.55	-	-	-	-	-	16498.5	-	16882.8	-	-	-	-	16690.7	0.809610	13512.9
363	4425.99	-	-	-	-	-	16271.4	-	16300.6	-	-	-	-	16286.0	0.809767	13187.9
364	4435.42	-	-	-	-	-	16226.9	-	16675.4	-	-	-	-	16451.1	0.809923	13324.2
365	4444.86	-	-	-	-	-	16010.4	-	16036.0	-	-	-	-	16023.2	0.810080	12980.0
366	4454.30	-	-	-	-	-	16076.4	-	16491.9	-	-	-	-	16284.2	0.810236	13194.0
367	4463.73	-	-	-	-	-	15804.0	-	15883.8	-	-	-	-	15843.9	0.810392	12839.8
368	4473.17	-	-	-	-	-	15825.4	-	16247.4	-	-	-	-	16036.4	0.810548	12998.2
369	4482.61	-	-	-	-	-	15613.5	-	15650.4	-	-	-	-	15631.9	0.810704	12672.8
370	4492.04	-	-	-	-	-	15622.4	-	15996.9	-	-	-	-	15809.6	0.810859	12819.4

304 Tabella D.60: Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=341÷370. Sono indicati i valori per le 12 sessioni di misura, il valor medio $\langle Resp \rangle$ prima della correzione per la trasmittanza del banco ($\tau(b)$) ed il valore finale $\langle Resp \rangle$.

band	λ (nm)	TI19JG19	TI19JG4	TI19KJ56	TI19KH21	TI19KH48	TI19KG41	TI19KG10	TI19KF23	TI19JK9	TI19JJ47	TI19JJ39	TI19KK13	$< Resp_0 > (DNm^2\mu msr)/(Ws)$	$\tau(b)$	$< Resp > (DNm^2\mu msr)/(Ws)$
371	4501.48	-	-	-	-	-	15432.8	-	15458.2	-	-	-	-	15445.5	0.811015	12526.5
372	4510.92	-	-	-	-	-	15730.9	-	15974.7	-	-	-	-	15852.8	0.811170	12859.3
373	4520.35	-	-	-	-	-	15413.2	-	15507.7	-	-	-	-	15460.5	0.811325	12543.5
374	4529.79	-	-	-	-	-	15786.2	-	16033.0	-	-	-	-	15909.6	0.811480	12910.3
375	4539.23	-	-	-	-	-	15590.5	-	15671.6	-	-	-	-	15631.0	0.811635	12686.7
376	4548.67	-	-	-	-	-	15913.8	-	15944.5	-	-	-	-	15929.2	0.811789	12931.1
377	4558.10	-	-	-	-	-	15250.4	-	15378.2	-	-	-	-	15314.3	0.811944	12434.3
378	4567.54	-	-	-	-	-	15768.2	-	15880.5	-	-	-	-	15824.3	0.812098	12850.9
379	4576.98	-	-	-	-	-	15037.3	-	15152.9	-	-	-	-	15095.1	0.812252	12261.0
380	4586.41	-	-	-	-	-	14753.9	-	14977.0	-	-	-	-	14865.5	0.812406	12076.8
381	4595.85	-	-	-	-	-	14568.6	-	14737.9	-	-	-	-	14653.3	0.812560	11906.7
382	4605.29	-	-	-	-	-	15188.8	-	15199.6	-	-	-	-	15194.2	0.812713	12348.5
383	4614.72	-	-	-	-	-	14666.9	-	14797.3	-	-	-	-	14732.1	0.812867	11975.2
384	4624.16	-	-	-	-	-	15202.1	-	15324.7	-	-	-	-	15263.4	0.813020	12409.4
385	4633.60	-	-	-	-	-	15145.8	-	15169.8	-	-	-	-	15157.8	0.813173	12325.9
386	4643.03	-	-	-	-	-	15733.6	-	15821.2	-	-	-	-	15777.4	0.813326	12832.2
387	4652.47	-	-	-	-	-	15426.9	-	15439.2	-	-	-	-	15433.1	0.813479	12554.5
388	4661.91	-	-	-	-	-	16060.2	-	16059.6	-	-	-	-	16059.9	0.813632	13066.8
389	4671.34	-	-	-	-	-	15605.8	-	15766.9	-	-	-	-	15686.4	0.813784	12765.3
390	4680.78	-	-	-	-	-	16123.8	-	16171.6	-	-	-	-	16147.7	0.813936	13143.2
391	4690.22	-	-	-	-	-	15462.1	-	15626.5	-	-	-	-	15544.3	0.814089	12654.4
392	4699.66	-	-	-	-	-	15872.6	-	15947.9	-	-	-	-	15910.3	0.814241	12954.8
393	4709.09	-	-	-	-	-	15452.4	-	15631.0	-	-	-	-	15541.7	0.814392	12657.1
394	4718.53	-	-	-	-	-	15685.7	-	15825.2	-	-	-	-	15755.5	0.814544	12833.5
395	4727.97	-	-	-	-	-	15342.0	-	15554.2	-	-	-	-	15448.1	0.814695	12585.5
396	4737.40	-	-	-	-	-	15673.9	-	15872.7	-	-	-	-	15773.3	0.814847	12852.9
397	4746.84	-	-	-	-	-	15241.9	-	15424.9	-	-	-	-	15333.4	0.814998	12496.7
398	4756.28	-	-	-	-	-	15458.1	-	15741.2	-	-	-	-	15599.6	0.815149	12716.0
399	4765.71	-	-	-	-	-	15111.8	-	15269.5	-	-	-	-	15190.6	0.815300	12384.9
400	4775.15	-	-	-	-	-	15294.5	-	15350.6	-	-	-	-	15322.6	0.815450	12494.8

Tabella D.61: Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=371÷400. Sono indicati i valori per le 12 sessioni di misura, il valor medio $< Resp_0 >$ prima della correzione per la trasmittanza del banco ($\tau(b)$) ed il valore finale $< Resp >$.

band	λ (nm)	TI19JG19	TI19JG4	TI19KJ56	TI19KH21	TI19KH48	TI19KG41	TI19KG10	TI19KF23	TI19JK9	TI19JJ47	TI19JJ39	TI19KK13	$\langle Resp_0 \rangle < (DNm^2\mu msr)/(Ws)$	$\tau(b)$	$\langle Resp \rangle < (DNm^2\mu msr)/(Ws)$
401	4784.59	-	-	-	-	-	14850.9	-	15005.1	-	-	-	-	14928.0	0.815601	12175.3
402	4794.02	-	-	-	-	-	14939.7	-	15244.9	-	-	-	-	15092.3	0.815751	12311.6
403	4803.46	-	-	-	-	-	14686.6	-	14868.7	-	-	-	-	14777.6	0.815902	12057.1
404	4812.90	-	-	-	-	-	14767.7	-	14974.3	-	-	-	-	14871.0	0.816051	12135.5
405	4822.33	-	-	-	-	-	14596.0	-	14737.5	-	-	-	-	14666.7	0.816201	11971.0
406	4831.77	-	-	-	-	-	14604.4	-	14808.9	-	-	-	-	14706.7	0.816351	12005.8
407	4841.21	-	-	-	-	-	14270.9	-	14475.8	-	-	-	-	14373.4	0.816501	11735.9
408	4850.65	-	-	-	-	-	14671.6	-	14835.1	-	-	-	-	14753.4	0.816650	12048.3
409	4860.08	-	-	-	-	-	14365.1	-	14664.3	-	-	-	-	14464.7	0.816799	11814.8
410	4869.52	-	-	-	-	-	14455.9	-	14757.0	-	-	-	-	14606.5	0.816948	11932.7
411	4878.96	-	-	-	-	-	14275.8	-	14461.5	-	-	-	-	14368.6	0.817097	11740.6
412	4888.39	-	-	-	-	-	14374.1	-	14566.7	-	-	-	-	14470.4	0.817246	11825.9
413	4897.83	-	-	-	-	-	14131.3	-	14313.9	-	-	-	-	14222.6	0.817394	11625.5
414	4907.27	-	-	-	-	-	14210.9	-	14486.1	-	-	-	-	14348.5	0.817543	11730.5
415	4916.70	-	-	-	-	-	13869.5	-	14092.4	-	-	-	-	13980.9	0.817691	11432.1
416	4926.14	-	-	-	-	-	14011.9	-	14277.5	-	-	-	-	14144.7	0.817839	11568.1
417	4935.58	-	-	-	-	-	13522.1	-	13654.2	-	-	-	-	13588.2	0.817987	11114.9
418	4945.01	-	-	-	-	-	13794.6	-	1327.3	-	-	-	-	13861.0	0.818134	11340.1
419	4954.45	-	-	-	-	-	13207.9	-	13401.7	-	-	-	-	13304.8	0.818282	10887.1
420	4963.89	-	-	-	-	-	13214.6	-	13481.1	-	-	-	-	13347.8	0.818429	10924.2
421	4973.33	-	-	-	-	-	12746.7	-	12945.3	-	-	-	-	12846.0	0.818577	10515.4
422	4982.76	-	-	-	-	-	12715.6	-	12928.5	-	-	-	-	12822.1	0.818724	10497.7
423	4992.20	-	-	-	-	-	12537.8	-	12717.9	-	-	-	-	12627.8	0.818871	10340.6
424	5001.64	-	-	-	-	-	12584.0	-	12739.7	-	-	-	-	12661.9	0.819017	10370.3
425	5011.07	-	-	-	-	-	12108.3	-	12259.8	-	-	-	-	12184.0	0.819164	9980.72
426	5020.51	-	-	-	-	-	12130.7	-	12270.5	-	-	-	-	12200.6	0.819310	9996.09
427	5029.95	-	-	-	-	-	11577.1	-	11715.1	-	-	-	-	11646.1	0.819457	9543.46
428	5039.38	-	-	-	-	-	11526.8	-	11432.0	-	-	-	-	11584.4	0.819603	9494.57
429	5048.82	-	-	-	-	-	11324.3	-	11457.9	-	-	-	-	11391.1	0.819749	9337.83
430	5058.26	-	-	-	-	-	11516.9	-	11662.5	-	-	-	-	11589.7	0.819894	9502.33
431	5067.69	-	-	-	-	-	10980.0	-	11148.7	-	-	-	-	11064.4	0.820040	9073.21

306 Tabella D.62: Responsività di VIRTIS-M-IR sulle bands=401÷431. Sono indicati i valori per le 12 sessioni di misura, il valor medio $\langle Resp_0 \rangle$ prima della correzione per la trasmittanza del banco ($\tau(b)$) ed il valore finale $\langle Resp \rangle$.

Sessione	Parametri strumentali		
F43P146	CVP1		START TIME = 2004-03-25T01:48:40.221Z
	$D_{\odot}=0.95$ AU		STOP TIME = 2004-03-25T01:59:54.182Z
	$T_{CCD}=172.411\div173.316$ K (start-end)	$T_{IRFPA}=87.065\div87.625$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=143.1$ K	$T_{spettrometro}=142.9$ K	
F43P321	$T_{shutter}=143.8\div146.7$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=282.3$ K	
	$T_{radiatore}=141.3$ K	$T_{ledge}=146.1$ K	
	Alimentazione delle lampade (NOM)	-VIS	-IR
	corrente (mA)	250	100
F43P350	tensione (V)	13.636 \div 14.041	2.541 \div 2.556
	CVP1	START TIME = 2004-03-25T03:23:23.311Z	
	$D_{\odot}=0.95$ AU	STOP TIME = 2004-03-25T03:34:37.168Z	
	$T_{CCD}=176.755\div177.027$ K (start-end)	$T_{IRFPA}=87.749\div87.843$ K (start-end)	
F43PF4	$T_{telescopio}=142.8$ K	$T_{spettrometro}=142.5$ K	
	$T_{shutter}=143.9\div144.5$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=281.8$ K	
	$T_{radiatore}=140.9$ K	$T_{ledge}=145.7$ K	
	Alimentazione delle lampade (LOW)	-VIS	-IR
F43P321	corrente (mA)	240	94
	tensione (V)	12.762 \div 13.136	2.217 \div 2.236
	CVP1	START TIME = 2004-03-25T03:51:50.850Z	
	$D_{\odot}=0.95$ AU	STOP TIME = 2004-03-25T04:03:04.673Z	
F43P350	$T_{CCD}=175.985\div176.362$ K (start-end)	$T_{IRFPA}=86.909\div87.407$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=143.0$ K	$T_{spettrometro}=142.4$ K	
	$T_{shutter}=144.4\div146.9$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=281.8$ K	
	$T_{radiatore}=140.8$ K	$T_{ledge}=145.6$ K	
F43PF4	Alimentazione delle lampade (HIGH)	-VIS	-IR
	corrente (mA)	254	109
	tensione (V)	14.196 \div 14.435	3.029 \div 3.047
	CVP1	START TIME = 2004-03-25T15:04:48.684Z	
F43P350	$D_{\odot}=0.95$ AU	STOP TIME = 2004-03-25T15:16:01.971Z	
	$T_{CCD}=170.108\div171.056$ K (start-end)	$T_{IRFPA}=76.478\div77.377$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=140.1$ K	$T_{spettrometro}=140.2$ K	
	$T_{shutter}=140.4\div143.3$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=283.2$ K	
F43PF4	$T_{radiatore}=139.3$ K	$T_{ledge}=143.9$ K	
	Alimentazione delle lampade (NOM)	-VIS	-IR
	corrente (mA)	250	100
	tensione (V)	13.695 \div 14.283	2.539 \div 2.548

Tabella D.63: Parametri di housekeeping delle sessioni F43P146, F43P321, F43P350, F43PF4 di calibrazione interna in volo di Rosetta-VIRTIS-M.

Sessione	Parametri strumentali		
F43PG37	CVP1		START TIME = 2004-03-25T16:37:58.999Z
	$D_{\odot}=0.95$ AU		STOP TIME = 2004-03-25T16:49:12.834Z
	$T_{CCD}=170.212\div171.191$ K (start-end)	$T_{IRFPA}= 94.382\div95.481$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=140.0$ K	$T_{spettrometro}=140.0$ K	
F43Q010	$T_{shutter}=140.4\div143.3$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=281.2$ K	
	$T_{radiatore}=141.3$ K	$T_{ledge}=146.1$ K	
	Alimentazione delle lampade (NOM)		-VIS -IR
	corrente (mA)	250	100
F43Q250	$T_{CCD}=171.041\div171.779$ K (start-end)	$T_{IRFPA}= 86.909\div87.283$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=138.9$ K	$T_{spettrometro}=139.1$ K	
	$T_{shutter}=139.2\div142.1$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=280.5$ K	
	$T_{radiatore}=138.3$ K	$T_{ledge}=142.8$ K	
F43Q358	Alimentazione delle lampade (NOM)		-VIS -IR
	corrente (mA)	250	100
	tensione (V)	13.800 \div 14.309	2.536 \div 2.584
F43Q010	CVP1	START TIME = 2004-03-26T00:10:56.907Z	
	$D_{\odot}=0.95$ AU	STOP TIME = 2004-03-26T00:22:10.717Z	
	$T_{CCD}=171.041\div171.779$ K (start-end)	$T_{IRFPA}= 86.909\div87.283$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=138.9$ K	$T_{spettrometro}=139.1$ K	
F43Q250	$T_{shutter}=139.2\div142.1$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=280.5$ K	
	$T_{radiatore}=138.3$ K	$T_{ledge}=142.8$ K	
	Alimentazione delle lampade (NOM)		-VIS -IR
	corrente (mA)	250	100
F43Q358	$T_{CCD}=171.417\div172.125$ K (start-end)	$T_{IRFPA}= 77.826\div78.018$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=139.3$ K	$T_{spettrometro}=139.2$ K	
	$T_{shutter}=139.9\div142.7$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=282.3$ K	
	$T_{radiatore}=138.4$ K	$T_{ledge}=142.9$ K	
F43Q010	Alimentazione delle lampade (NOM)		-VIS -IR
	corrente (mA)	250	100
	tensione (V)	13.634 \div 14.162	2.531 \div 2.551
F43Q250	CVP1	START TIME = 2004-03-26T02:51:14.789Z	
	$D_{\odot}=0.95$ AU	STOP TIME = 2004-03-26T03:02:27.880Z	
	$T_{CCD}=171.417\div172.125$ K (start-end)	$T_{IRFPA}= 77.826\div78.018$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=139.3$ K	$T_{spettrometro}=139.2$ K	
F43Q358	$T_{shutter}=139.9\div142.7$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=282.3$ K	
	$T_{radiatore}=138.4$ K	$T_{ledge}=142.9$ K	
	Alimentazione delle lampade (NOM)		-VIS -IR
	corrente (mA)	250	100
F43Q010	$T_{CCD}=170.558\div171.387$ K (start-end)	$T_{IRFPA}= 93.340\div94.932$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=139.2$ K	$T_{spettrometro}=139.1$ K	
	$T_{shutter}=139.7\div142.5$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=280.5$ K	
	$T_{radiatore}=138.5$ K	$T_{ledge}=143.0$ K	
F43Q358	Alimentazione delle lampade (NOM)		-VIS -IR
	corrente (mA)	250	100
	tensione (V)	13.530 \div 14.426	2.537 \div 2.550

Tabella D.64: Parametri di housekeeping delle sessioni F43PG37, F43Q010, F43Q250, F43Q358 di calibrazione interna in volo di Rosetta-VIRTIS-M.

Sessione	Parametri strumentali		
F44OD39	Earth observation		START TIME = 2004-04-24T13:41:04.756Z
	$D_{\odot}=0.90$ AU		STOP TIME = 2004-04-24T13:52:18.598Z
	$T_{CCD}=148.079\div151.712$ K (start-end)	$T_{IRFPA}= 85.943\div86.629$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=137.1$ K	$T_{spettrometro}=137.2$ K	
F44UA45	$T_{shutter}=137.4\div140.2$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=269.8$ K	
	$T_{radiatore}=136.8$ K	$T_{ledge}=141.1$ K	
	Alimentazione delle lampade (NOM)	-VIS	-IR
	corrente (mA)	250	100
F49A527	$T_{CCD}=148.570\div152.265$ K (start-end)	$T_{IRFPA}= 85.787\div86.348$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=137.8$ K	$T_{spettrometro}=138.2$ K	
	$T_{shutter}=138.0\div140.9$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=286.8$ K	
	$T_{radiatore}=138.8$ K	$T_{ledge}=143.0$ K	
F49B438	Alimentazione delle lampade (NOM)	-VIS	-IR
	corrente (mA)	250	100
	tensione (V)	13.506 \div 14.369	2.535 \div 2.552
F49A527	CVP3	START TIME = 2004-09-10T05:29:05.600Z	
	$D_{\odot}=1.04$ AU	STOP TIME = 2004-09-10T05:40:18.834Z	
	$T_{CCD}=148.229\div151.952$ K (start-end)	$T_{IRFPA}= 85.693\div86.317$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=137.2$ K	$T_{spettrometro}=137.5$ K	
F49B438	$T_{shutter}=137.5\div140.4$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=282.1$ K	
	$T_{radiatore}=136.9$ K	$T_{ledge}=141.3$ K	
	Alimentazione delle lampade (NOM)	-VIS	-IR
	corrente (mA)	250	100
F49B438	$T_{CCD}=147.633\div151.310$ K (start-end)	$T_{IRFPA}= 85.912\div86.536$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=136.7$ K	$T_{spettrometro}=136.9$ K	
	$T_{shutter}=137.0\div139.8$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=274.7$ K	
	$T_{radiatore}=136.2$ K	$T_{ledge}=140.5$ K	
F49B438	Alimentazione delle lampade (NOM)	-VIS	-IR
	corrente (mA)	250	100
	tensione (V)	13.820 \div 14.162	2.538 \div 2.548

Tabella D.65: Parametri di housekeeping delle sessioni F44OD39, F44UA45, F49A527, F49B438 di calibrazione interna in volo di Rosetta-VIRTIS-M.

Tabella D.66: Parametri di housekeeping delle sessioni F49O738, F49P438, F49Q78, F49S857 di calibrazione interna in volo di Rosetta-VIRTIS-M.

Sessione	Parametri strumentali		
F49U952	CVP3		START TIME = 2004-09-30T09:54:05.408Z
	$D_{\odot}=1.07$ AU		STOP TIME = 2004-09-30T10:05:19.186Z
	$T_{CCD}=149.061\div152.772$ K (start-end)	$T_{IRFPA}=85.912\div86.536$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=138.5$ K	$T_{spettrometro}=139.0$ K	
F534G40	$T_{shutter}=138.7\div141.6$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=285.2$ K	
	$T_{radiatore}=139.5$ K	$T_{ledge}=144.0$ K	
	Alimentazione delle lampade (NOM)	-VIS	-IR
	corrente (mA)	250	100
F535730	$T_{CCD}=149.047\div152.548$ K (start-end)	$T_{IRFPA}=85.412\div86.099$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=136.9$ K	$T_{spettrometro}=142.9$ K	
	$T_{shutter}=137.1\div140.0$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=282.7$ K	
	$T_{radiatore}=137.2$ K	$T_{ledge}=141.6$ K	
F53TH0	Alimentazione delle lampade (NOM)	-VIS	-IR
	corrente (mA)	250	100
	tensione (V)	13.824 \div 14.237	2.541 \div 2.586
F534G40	Earth flyby	START TIME = 2005-03-04T16:41:35.764Z	
	$D_{\odot}=0.99$ AU	STOP TIME = 2005-03-04T16:52:49.616Z	
	$T_{CCD}=149.047\div152.548$ K (start-end)	$T_{IRFPA}=85.412\div86.099$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=136.9$ K	$T_{spettrometro}=142.9$ K	
F535730	$T_{shutter}=137.1\div140.0$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=282.7$ K	
	$T_{radiatore}=137.2$ K	$T_{ledge}=141.6$ K	
	Alimentazione delle lampade (NOM)	-VIS	-IR
	corrente (mA)	250	100
F535730	$T_{CCD}=154.159\div157.521$ K (start-end)	$T_{IRFPA}=86.536\div87.096$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=143.0$ K	$T_{spettrometro}=142.7$ K	
	$T_{shutter}=143.6\div146.5$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=282.8$ K	
	$T_{radiatore}=140.9$ K	$T_{ledge}=145.7$ K	
F53TH0	Alimentazione delle lampade (NOM)	-VIS	-IR
	corrente (mA)	250	100
	tensione (V)	13.567 \div 13.982	2.544 \div 2.589
F53TH0	Passive checkout	START TIME = 2005-03-29T17:01:35.160Z	
	$D_{\odot}=1.03$ AU	STOP TIME = 2005-03-29T17:12:48.972Z	
	$T_{CCD}=152.100\div155.264$ K (start-end)	$T_{IRFPA}=85.412\div86.286$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=137.9$ K	$T_{spettrometro}=138.1$ K	
F53TH0	$T_{shutter}=138.3\div141.1$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=278.4$ K	
	$T_{radiatore}=137.6$ K	$T_{ledge}=142.0$ K	
	Alimentazione delle lampade (NOM)	-VIS	-IR
	corrente (mA)	250	100
F53TH0	tensione (V)	13.533 \div 14.012	2.540 \div 2.549

Tabella D.67: Parametri di housekeeping delle sessioni F49U952, F534G40, F535730, F53TH0 di calibrazione interna in volo di Rosetta-VIRTIS-M.

<i>Sessione</i>	<i>Parametri strumentali</i>		
F57459	CVP3	START TIME = 2005-07-04T05:10:35.562Z	
	$D_{\odot}=1.40$ AU	STOP TIME = 2005-07-04T05:21:49.423Z	
	$T_{CCD}=147.261\div150.669$ K (start-end)	$T_{IRFPA}=85.256\div86.005$ K (start-end)	
	$T_{telescopio}=133.3$ K	$T_{spettrometro}=133.6$ K	
F637C30	$T_{shutter}=133.7\div136.5$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=267.2$ K	
	$T_{radiatore}=132.6$ K	$T_{ledge}=136.6$ K	
	Alimentazione delle lampade (NOM)	-VIS	-IR
	corrente (mA)	250	100
F57459	tensione (V)	13.637 \div 14.424	2.535 \div 2.554
	CVP3	START TIME = 2006-03-07T12:31:36.845Z	
	$D_{\odot}=1.67$ AU	STOP TIME = 2006-03-07T12:42:49.872Z	
	$T_{CCD}=165.943\div166.830$ K (start-end)	$T_{IRFPA}=84.661\div85.568$ K (start-end)	
F637C30	$T_{telescopio}=132.1$ K	$T_{spettrometro}=132.5$ K	
	$T_{shutter}=132.4\div135.2$ K (start-end)	$T_{OM\ base}=270.4$ K	
	$T_{radiatore}=131.2$ K	$T_{ledge}=135.1$ K	
	Alimentazione delle lampade (NOM)	-VIS	-IR
F57459	corrente (mA)	250	100
	tensione (V)	13.312 \div 14.035	2.541 \div 2.598
	CVP3	START TIME = 2006-03-07T12:31:36.845Z	
	$D_{\odot}=1.67$ AU	STOP TIME = 2006-03-07T12:42:49.872Z	

Tabella D.68: Parametri di housekeeping delle sessioni F57459, F637C30 di calibrazione interna in volo di Rosetta-VIRTIS-M.

Bibliografia

AA. VV., 2003. Cassini Mission Plan. *JPL D-5564*, revision O, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena CA.

R. Berry, J. Burnell, 2000. The handbook of astronomical image processing, Willmann-Bell, Richmond, VA.

G. Bonello, J. P. Bibring, A. Soufflot, Y. Langevin, B. Gondet, M. Berthé, C. Carabetian, 2005. The ground calibration setup of OMEGA and VIRTIS experiments: description and performances. *Planet. Space Sci.*, 53, 711-728.

R. H. Brown, K. H. Baines, G. Bellucci, J.-P. Bibring, B. J. Buratti, F. Capaccioni, P. Cerroni, R. N. Clark, A. Coradini, D. P. Cruikshank, P. Drossart, V. Formisano, R. Jaumann, Y. Langevin, D. L. Matson, T. B. McCord, V. Mennella, R. M. Nelson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, S. Amici, M. A. Chamberlain, G. Filacchione, G. Hansen, K. Hibbitts, M. Showalter, 2003. Observations with the Visual and Infrared Mapping Spectrometer (VIMS) during Cassini's flyby of Jupiter. *Icarus*, Volume 164, Issue 2, p. 461-470.

R. H. Brown, K. H. Baines, G. Bellucci, J. P. Bibring, B. J. Buratti, F. Capaccioni, P. Cerroni, R. N. Clark, A. Coradini, D. P. Cruikshank, P. Drossart, V. Formisano, R. Jaumann, Y. Langevin, D. L. Matson, T. B. McCord, V. Mennella, E. Miller, R. M. Nelson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, 2004. The Cassini Visual and Infrared Mapping Spectrometer (VIMS) investigation, in the Cassini-Huygens mission: Orbiter Remote sensing Investigations, C. T. Russel Editor. *Space Science Reviews*, 115, 111-168.

F. Capaccioni, A. Coradini, P. Cerroni, S. Amici, 1998. Imaging spectroscopy of Saturn and its satellites: VIMS-V onboard Cassini. *Planet. Space Sci.*, 46, n. 9-10, 1263-1276.

A. Coradini, F. Capaccioni, M. T. Capria, P. Cerroni, M. C. de Sanctis, G. Magni, F. Reininger, P. Drossart, M. A. Barucci, D. Bockelee-Morvan, M. Combes, J. Crovisier, T. Encrenaz, D. Tiphene, G. Arnold, U. Carsenty, H. Michaelis, S. Mottola, G. Neukum, U. Schade, F. Taylor, S. Calcutt, T. Vellacott, P. Venters, R. E. Watkins, G. Bellucci, V. Formisano, F. Angrilli, G. Bianchini, B. Saggin, E. Bussolletti, L. Colangeli, V. Mennella, S. Fonti, G. Tozzi, J. P. Bibring, Y. Langevin, B. Schmitt, M. Combi, U. Fink, T. McCord, W. Ip, R. W. Carlson, D. E. Jennings, 1996. VIRTIS Visible Infrared Thermal Imaging Spectrometer for Rosetta Mission. *Lunar and Planetary Institute Conference Abstracts XXVII*, 253-254.

A. Coradini, F. Capaccioni, P. Drossart, A. Semery, G. Arnold, U. Schade, F. Angrilli, M. A. Barucci, G. Bellucci, G. Bianchini, J. P. Bibring, A. Blanco, M. Blecka, D. Bockelee-Morvan, R. Bonsignori, M. Bouye, E. Bussolletti, M. T. Capria, R. Carlson, U. Carsenty, P. Cerroni, L. Colangeli, M. Combes, M. Combi, J. Crovisier, M. Dami, M. C. DeSanctis, A. M. DiLellis, E. Dotto, T. Encrenaz, E. Epifani, S. Erard, S. Espinasse, A. Fave, C. Federico, U. Fink, S. Fonti, V. Formisano, Y. Hello, H. Hirsch, G. Huntzinger, R. Knoll, D. Kouach, W. P. Ip, P. Irwin, J. Kachlicki, Y. Langevin, G. Magni, T. McCord, V. Mennella, H. Michaelis, G. Mondello, S. Mottola, G. Neukum, V. Orofino, R. Orosei, P. Palumbo, G. Peter, B. Pforte, G. Piccioni, J. M. Reess, E. Ress, B. Saggin, B. Schmitt, D. Stefanovitch, A. Stern, F. Taylor, D. Tiphene, G. Tozzi, 1998. Virtis : an imaging spectrometer for the Rosetta mission. *Planet. Space Sci.*, 46, 1291-1304.

A. Coradini, F. Capaccioni, P. Drossart, A. Semery, G. Arnold, U. Schade, 1999. VIRTIS: the imaging spectrometer of the Rosetta mission. *Adv. Space Res.* 24, No. 9, 1095-1104.

A. Coradini, G. Filacchione, F. Capaccioni, P. Cerroni, A. Adriani, R. H. Brown, Y. Langevin, B. Gondet, 2004. CASSINI/VIMS-V at Jupiter: Radiometric calibration test and data results. *Planet. Space Sci.*, 52, Issue 7, 661-670.

A. Coradini, F. Capaccioni, P. Drossart, A. Adriani, M. T. Capria, M. C. De Sanctis, G. Filacchione, G. Piccioni, Rosetta-VIRTIS Science Team, 2005. VIRTIS Rosetta Earth-Moon imaging spectroscopy. *American Astronomical Society, DPS meeting #37, #18.04*

G. Filacchione, 2001. Spettroscopia ad immagine nel visibile e nel vicino infrarosso di oggetti del sistema solare. Tesi di Laurea in Fisica, Università degli Studi di Roma La Sapienza.

F. Grum, R. J. Becherer, 1979. Optical Radiation Measurements, Vol. I, Radiometry. Academic Press, Franc Grum Editor, New York.

R. A. Hanel, B. J. Conrath, D. E. Jennings, R. E. Samuelson, 1992. Exploration of the Solar System by infrared Remote Sensing. Cambridge University Press, Cambridge UK.

- B. Hapke, 1993. *Theory of Reflectance and Emittance Spectroscopy*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- E. Karkoschka, 1994. Spectrophotometry of the jovian planets and Titan at 300-1000 nm wavelength: the methane spectrum. *Icarus*, 111, 174-192.
- H. H. Kieffer, T. C. Stone, 2005. The spectral irradiance of the Moon. *Astron. J.*, 129, 2887-2901.
- A. P. Lane, W. M. Irvine, 1973. Monochromatic phase curves and albedos for the lunar disk. *Astron. J.*, 78, 267-277.
- T. B. McCord, M. Charette, T. V. Johnson, L. A. Lebofsky, C. M. Pieters, J. B. Adams, 1972a. Lunar spectral types. *J. Geophys. Res.*, 77, 1349-1359.
- T. B. McCord, M. Charette, T. V. Johnson, L. A. Lebofsky, C. M. Pieters, 1972b. Spectrophotometry (0.3 to 1.1 microns) of visited and proposed Apollo lunar landing sites. *The Moon*, 52-89.
- T. B. McCord, A. Coradini, C. A. Hibbitts, F. Capaccioni, G. B. Hansen, G. Filacchione, R. N. Clark, P. Cerroni, R. H. Brown, K. H. Baines, G. Bellucci, J.-P. Bibring, B. J. Buratti, E. Bussolotti, M. Combes, D. P. Cruikshank, P. Drossart, V. Formisano, R. Jaumann, Y. Langevin, D. L. Matson, R. M. Nelson, P. D. Nicholson, B. Sicardy, C. Sotin, C., 2004. Cassini VIMS observations of the Galilean satellites including the VIMS calibration procedure. *Icarus*, 172, Issue 1, 104-126.
- R. Melchiorri, G. Piccioni, A. Mazzoni, 2003. VIRTIS-M flight lamps. *Review of Scientific Instruments*, volume 74, number 8, 3796-3801.
- R. Melchiorri, F. Capaccioni, A. Coradini, G. Filacchione, G. Piccioni, M. de Petris, 2004. VISPO project: visible image-spectrometer for planetary observations. *New Astronomy*, 9, Issue 8, 635-640.
- E. A. Miller, 1992. Visible and Infrared mapping spectrometer. Cassini orbiter functional requirements book, *CAS-4-2037*, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena CA.
- E. A. Miller, G. Klein, D. W. Juergens, K. Mehaffey, J. M. Oseas, R. A. Garcia, A. Giandomenico, R. E. Irigoyen, R. Hickok, D. Rosing, H. R. Sobel, C. F. Bruce, E. Flamini, R. Devidi, F. M. Reininger, M. Dami, A. Soufflot, Y. Langevin, G. Huntzinger, 1996. The Visual and Infrared Mapping Spectrometer for Cassini, *Proc. SPIE*, 2803, 206-220, Cassini/Huygens: A Mission to the Saturnian Systems, Linda Horn, Ed.
- A. Offner, 1975. New concepts in projection mask aligners, *Optical Engineering*, 14, n. 2, 130-132.

C. M. Pieters, 1999, New Views of the Moon II: Understanding the Moon through the Integration of Diverse Datasets, Workshop held in Flagstaff, abstract nr. 8025.

F. M. Reininger, M. Dami, R. Paolinetti, S. Pieri, S. Falugiani, 1994. Visible Infrared Mapping Spectrometer-visible channel (VIMS-V), *Proc. SPIE*, 2198, 239-250, Instrumentation in Astronomy VIII, David L. Crawford, Eric R. Craine Eds.

R. Rice, P. Yeh, W. Miller, 1991. Algorithms for a very high speed noiseless encoding module. *JPL publication*, 91-1, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena CA.

M. J. Riedl, 2001. Optical Design for Infrared Systems. SPIE press, the international Society for Optical Engineering, Bellingham, Washington, USA.

D. Shafer, 1978. Four mirror unobscured anastigmatic telescopes with all-spherical surfaces. *Applied Optics* 17, n.7, 1072-1074.

M. P. Thekaekara, 1973. Solar Energy Monitor In Space (SEMIS), *Proc. of Symp. on Solar Radiation Measurement and Instrumentation*, 414-442.

A. Thorne, U. Litzén, S. Johansson, 1999. Spectrophysics. Springer, Berlin.